examenbundel.nl

examen bundel

Meer dan alleen oefenexamens

Nu bij je boek
mijn.examenbundel.nl
Online oefenen, video's en meer

2021|2022

vwo

Natuurkunde

ThiemeMeulenhoff

examenbundel.nl

examen bundel

Meer dan alleen oefenexamens

R. Slooten
L. van Rooyen
M.H. Overbosch

2021 | 2022

vwo

Natuurkunde

ThiemeMeulenhoff

mijn.examenbundel.nl ›

Slagen zonder examenstress doe je met Examenbundel, Samengevat, Examenidioom en Zeker Slagen!
Alles voor je schoolexamens en je centrale examens in je boeken, maar ook online.

- Quickscan
- Antwoorden bij de oriëntatietoets
- Video's en andere leerbronnen
- Oefenexamens
- Overzicht van al je examenvakken
- En nog veel meer op Mijn Examenbundel!

Ga naar mijn.examenbundel.nl en log in op Mijn Examenbundel. Met deze code krijg je toegang tot heel veel (digitale) extra's die bij je bundel horen:

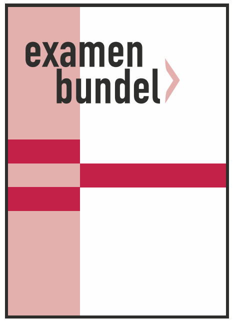
Deze code is uniek en door één persoon te gebruiken. Geldig tot 15 juli 2022.

#ikgazekerslagen

Voorwoord

Met deze **Examenbundel** bereid je je goed voor op het eindexamen en op de schoolexamens. Je oefent met echte examenopgaven. Als je niet weet hoe je een vraag aan moet pakken, raadpleeg dan de bijbehorende hint. In de uitwerkingen staan de antwoorden met een duidelijke uitleg. Zo weet je precies wat je goed en fout hebt gedaan.

Gebruik naast deze **Examenbundel** ook het boek **Samengevat** om te leren voor je examen. Hierin vind je een handige samenvatting van alle examenstof.



Oefenen met echte examens en duidelijke uitwerkingen

+

Overzichtelijke samenvatting van de examenstof

Wil je weten op welke datum het centraal examen is?
Ga naar examenbundel.nl/examenrooster voor het actuele examenrooster.
Of scan de QR-code:

Namens team **Examenbundel** heel veel succes!

Heb je een vraag of opmerking over deze **Examenbundel**?
Ga dan naar examenbundel.nl/contact.

Opmerking
De overheid stelt de regels op voor het examen. Bijvoorbeeld wat de examenonderwerpen zijn, welke hulpmiddelen je mag gebruiken en wanneer het examen is. De auteurs en uitgever hebben deze **Examenbundel** met grote zorg samengesteld. Soms veranderen de regels van de overheid echter of worden er nieuwe afspraken gemaakt over wat die regels betekenen. Raadpleeg daarom altijd je docent of onze website www.examenbundel.nl voor actuele informatie die voor jouw examen van belang is.

©ThiemeMeulenhoff

Inhoud

3 **Voorwoord**
7 **Stappenplan: hoe leer je met de Examenbundel?**
13 **Tips: hoe maak je examenopgaven bij natuurkunde?**

Oriëntatietoets

17 Opgaven

Deel 1
Oefenen op onderwerp

1 Vaardigheden (domein A)
27 Opgaven
36 Hints en uitwerkingen

2 Informatie-overdracht (domein B1)
41 Opgaven
52 Hints en uitwerkingen

3 Medische beeldvorming (domein B2)
59 Opgaven
67 Hints en uitwerkingen

4 Kracht en beweging (domein C1)
74 Opgaven
91 Hints en uitwerkingen

5 Energie en wisselwerking (domein C2)
102 Opgaven
111 Hints en uitwerkingen

6 Gravitatie (domein C3)
119 Opgaven
127 Hints en uitwerkingen

7 Elektrische systemen (domein D1)
134 Opgaven
143 Hints en uitwerkingen

8 Elektrische en magnetische velden (domein D2)
150 Opgaven
159 Hints en uitwerkingen

9 Elektromagnetische straling en materie (domein E2)
168 Opgaven
175 Hints en uitwerkingen

10 Quantumwereld (domein F1)
183 Opgaven
191 Hints en uitwerkingen

Deel 2a
Examens met uitwerkingen

Examen 2016-II
201 Opgaven
214 Hints en uitwerkingen

Examen 2017-I
223 Opgaven
236 Hints en uitwerkingen

Examen 2017-II
244 Opgaven
258 Hints en uitwerkingen

Examen 2018-I
265 Opgaven
278 Hints en uitwerkingen

Examen 2018-II
288 Opgaven
301 Hints en uitwerkingen

Examen 2019-I
309 Opgaven
327 Hints en uitwerkingen

Examen 2019-II
336 Opgaven
351 Hints en uitwerkingen

Deel 2b
Examen zonder uitwerkingen

Examen 2021-I
361 Opgaven

Bijlagen

Cijferbepaling
Onderwerpregister

©ThiemeMeulenhoff
©ThiemeMeulenhoff

Stappenplan: hoe leer je met de Examenbundel?

Natuurlijk kun je de **Examenbundel** van voor naar achter doorwerken of er kriskras wat onderdelen uithalen om mee te oefenen, maar je kunt het ook systematischer aanpakken. Als je oefenen met de **Examenbundel** combineert met leren uit **Samengevat**, bereid je je optimaal voor op je examen.

Op de volgende pagina's vind je drie routes die laten zien hoe je kunt leren met de **Examenbundel**. Kies de route die past bij jouw manier van leren:

- Route 1: Ga je graag meteen aan de slag? Start met **oefenen per onderwerp**.
- Route 2: Wil je eerst weten waar je staat? Start met **de oriëntatietoets**.
- Route 3: Leer je liever eerst de theorie? Start met **leren per onderwerp**.

Wil je weten wat je leerstijl is?

Kies de route die bij jouw manier van leren past!

Lees ook de tips! Voorkom verrassingen tijdens je examen.

#ikgazekerslagen

©ThiemeMeulenhoff

Route 1

Ga je graag meteen aan de slag? Start met oefenen per onderwerp.

januari & februari

Maak per week opgaven van een hoofdstuk in deel 1 van de Examenbundel.

Kijk de opgaven na met de bijbehorende uitwerkingen.

- Meer dan de helft goed.
- De helft of minder goed.
  - Neem het bijbehorende hoofdstuk in Samengevat door.
  - Oefen met het onderwerpregister achter in de Examenbundel meer opgaven over dit onderwerp uit de verschillende examens.
  - Kijk die opgaven na.
    - Meer dan de helft goed.
    - De helft of minder goed.
      - Maak de opgaven van dat hoofdstuk uit deel 1 die je nog niet gemaakt had. Gebruik de hints.

maart

Maak de oriëntatietoets.

Bereken je score met de uitwerkingen op mijn.examenbundel.nl.

- Voldoende.
- Onvoldoende.

Bestudeer Samengevat over de onderwerpen die minder goed gingen.

Oefen opgaven uit deel 1 van de Examenbundel en via het onderwerpregister uit de verschillende examens over het betreffende onderwerp. Gebruik de hints!

april

Maak een heel examen uit deel 2a van de Examenbundel.

Kijk het examen na met de bijbehorende uitwerkingen.

- Tevreden met het resultaat.
- Niet tevreden met het resultaat.
  - Kijk met behulp van het onderwerpregister welke onderdelen nog niet goed gaan en waar voor jouw gevoel wel winst is te behalen. Je hoeft niet alles goed te doen!
  - Bestudeer Samengevat en maak via het onderwerpregister van de Examenbundel een aantal opgaven over dat onderwerp uit deel 1 en 2a tot je tevreden bent met het resultaat.

Blijf oefenen met deel 2a zodat je met vertrouwen het examen in gaat.

#geenexamenstress

Route 2

Wil je eerst weten waar je staat? Start met de oriëntatietoets.

januari

- Maak de oriëntatietoets in de Examenbundel.
- Bereken je score met de uitwerkingen op mijn.examenbundel.nl.
  - Voldoende.
  - Onvoldoende.
    - Kijk welke onderwerpen uit deel 1 van de Examenbundel nog niet goed gingen.

februari

- Bestudeer elk hoofdstuk in Samengevat.

maart

- Maak opgaven per onderwerp uit deel 1 van de Examenbundel.
- Kijk de opgaven na met de bijbehorende uitwerkingen.
  - Meer dan de helft goed.
  - De helft of minder goed.
    - Oefen met het onderwerpregister achter in de Examenbundel meer opgaven over dit onderwerp uit de verschillende examens.
    - Kijk die opgaven na.
      - Meer dan de helft goed.
      - De helft of minder goed.
        - Maak de opgaven van dat hoofdstuk uit deel 1 die je nog niet gemaakt had. Gebruik de hints.

april

- Maak een heel examen uit deel 2a van de Examenbundel.

april

- Kijk het examen na met de bijbehorende uitwerkingen.
  - Tevreden met het resultaat.
  - Niet tevreden met het resultaat.
    - Kijk met behulp van het onderwerpregister welke onderdelen nog niet goed gaan en waar voor jouw gevoel wel winst is te behalen. Je hoeft niet alles goed te doen!
    - Bestudeer Samengevat en maak via het onderwerpregister van de Examenbundel een aantal opgaven over dat onderwerp uit deel 1 en 2a tot je tevreden bent met het resultaat.
- Blijf oefenen met deel 2a zodat je met vertrouwen het examen in gaat.

#geenexamenstress

Route 3

Leer je liever eerst de theorie? Start met leren per onderwerp.

#

januari & februari

- Bestudeer per week een hoofdstuk uit Samengevat.

maart

- Maak de oriëntatietoets van de Examenbundel.
- Bereken je score met de uitwerkingen op mijn.examenbundel.nl.
  - Voldoende.
  - Onvoldoende.
    - Kijk welke onderwerpen uit deel 1 van de Examenbundel nog niet goed gingen.
    - Maak de opgaven uit deel 1 over die onderwerpen.
    - Kijk die opgaven na.
      - Meer dan de helft goed.
      - De helft of minder goed.
        - Oefen met het onderwerpregister achter in de Examenbundel meer opgaven over dit onderwerp uit de verschillende examens.

april

- Maak een heel examen uit deel 2a van de Examenbundel.
- Kijk het examen na met de bijbehorende uitwerkingen.
  - Tevreden met het resultaat.
  - Niet tevreden met het resultaat.
    - Kijk met behulp van het onderwerpregister welke onderdelen nog niet goed gaan en waar voor jouw gevoel wel winst is te behalen. Je hoeft niet alles goed te doen!
    - Bestudeer Samengevat en maak via het onderwerpregister van de Examenbundel een aantal opgaven over dat onderwerp uit deel 1 en 2a tot je tevreden bent met het resultaat.
- Blijf oefenen met deel 2a zodat je met vertrouwen het examen in gaat.

#geenexamenstress

©ThiemeMeulenhoff

Tips: hoe maak je examenopgaven bij natuurkunde?

Bij het op de juiste manier oplossen van een probleem doorloop je in het algemeen drie stappen: de voorbereiding, de uitvoering en een controle.

Voorbereiding

- Kijk eerst vluchtig alle opgaven door en begin met de opgaven die je vertrouwd voorkomen.
- Ga na hoeveel tijd gemiddeld beschikbaar is per opgave. Probeer te voorkomen dat je te lang met een bepaalde vraag bezig blijft en daardoor weinig punten scoort bij andere vragen.
- Lees de tekst van de gekozen opgave rustig en nauwkeurig. Onderstreep of markeer hierbij aanwijzingen, begrippen, formules, getallen e.d. die van belang kunnen zijn. Deze informatie is dan bij het beantwoorden van de vragen snel terug te vinden.
- Lees elke vraag nauwkeurig en ga na welke informatie je nodig denkt te hebben om de vraag te kunnen beantwoorden. Zoek die informatie op in de tekst van de opgave, of in Binas of ScienceData.
- Begin pas aan de uitvoering, wanneer je de aanpak van het vraagstuk overziet.

Uitvoering

- Reserveer op je papier voor elke opgave voldoende ruimte. Je werk wordt daardoor overzichtelijker en je kunt je antwoord makkelijker aanvullen.
- Schrijf alle tussenstappen overzichtelijk op, zodat zichtbaar wordt hoe je tot je antwoord bent gekomen.
- Indien om uitleg wordt gevraagd, mag die niet ontbreken.
- Schrijf bij twijfel altijd iets op (behalve als je zelf al kunt beoordelen dat je antwoord nergens op slaat).

Controle

- Lees de vraag nog eens over. Is hij volledig beantwoord?
- Vind je het gevonden antwoord zinnig (klopt bv. de orde van grootte)? Zo niet, probeer je denk- of rekenfout op te sporen of maak daarover tenminste een opmerking.
- Is de juiste eenheid vermeld?
- Is de afronding van een verkregen waarde in overeenstemming met de vraagstelling? Let op het juiste aantal significante cijfers.

©ThiemeMeulenhoff

Hoe zou je het nu al doen op een examen? De oriëntatietoets geeft je een eerste indruk. De antwoorden vind je op mijn.examenbundel.nl.

Oriëntatietoets

Vijftig meter vlinderslag

Lees de onderstaande tekst.

De vlinderslag:
Bij de vlinderslag moet je beide armen tegelijk gebruiken. Je maakt met je armen wel enorme halen: boven water naar voren, onder water naar achteren.
Je benen maken dolfijn-achtige bewegingen.

Bij een wedstrijd mag je vanaf de start de eerste vijftien meter onder water zwemmen. De rest van de afstand moet bij voorkeur bestaan uit een geheel aantal slagen, zodat je met de armen gestrekt naar voren de finish aantikt.

Joep traint voor de vijftig meter vlinderslag. Bij een van zijn trainingen horen de volgende gegevens:
– Na de afzet zwemt hij onder water tot 15,0 m vanaf het startpunt. Hiervoor heeft hij 6,80 s nodig.
– Daarna maakt hij een aantal gelijke slagen met een slagfrequentie van 0,833 Hz en een slaglengte van 2,50 m.

3p **1** Bereken de tijd die Joep voor deze 50,0 meter nodig heeft.

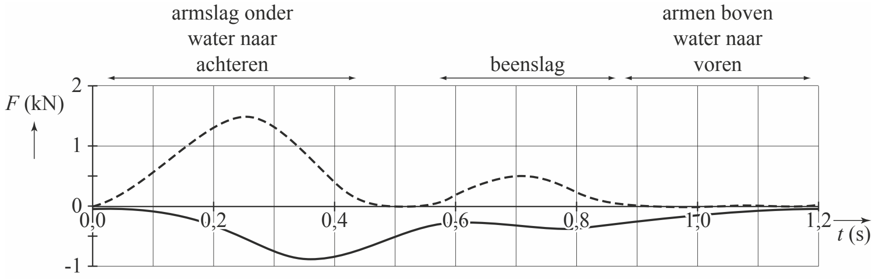
Joep wil een snellere tijd halen en wil gaan trainen op een hogere slagfrequentie van 0,880 Hz en een slaglengte van 2,40 m.
Joep doet hierover twee beweringen:
– Mijn slagfrequentie neemt relatief meer toe dan dat mijn slaglengte afneemt.
– Op deze manier zwem ik zeker een snellere tijd.

4p **2** Leg voor beide beweringen afzonderlijk met behulp van berekeningen uit of ze waar zijn.

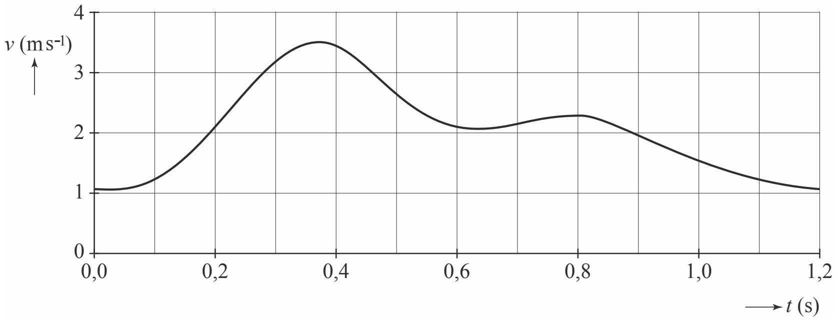
©ThiemeMeulenhoff

In figuur 1 staat het verloop van de voortstuwingskracht en de weerstandskracht tijdens één zwemslag. In figuur 2 staat het verloop van de snelheid van het zwaartepunt van de zwemmer.

figuur 1



figuur 2



Het tijdstip waarop de snelheid maximaal is, valt later dan het tijdstip waarop de voortstuwingskracht maximaal is.

2p **3** Verklaar dit.

De weerstandskracht is in goede benadering alleen afkomstig van het water. Deze kracht is evenredig met het kwadraat van de snelheid van de zwemmer. In formulevorm: $F_w = kv^2$.

3p **4** Bepaal de evenredigheidsconstante k met de bijbehorende eenheid.

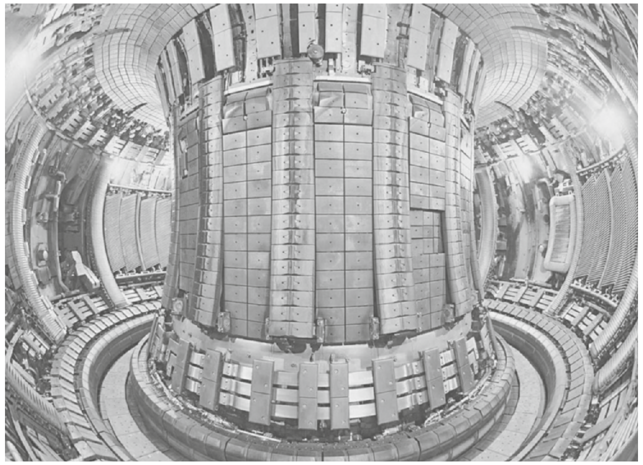
De zwemmer verricht de meeste arbeid in de eerste 0,5 s. De arbeid die hij tussen t = 0 s en t = 0,5 s verricht, is (ongeveer) gelijk aan:

a 0,09 kJ
b 0,3 kJ
c 0,9 kJ
d 3,0 kJ

3p **5** Welke van deze antwoorden is juist? Licht je antwoord toe op basis van schattingen.

Tokamak

Lees onderstaand artikel.



Een Tokamak is een kernfusiereactor waarin met behulp van een magnetisch veld een plasma kan worden opgesloten. Zo'n plasma bestaat uit atoomkernen en vrije elektronen.
In een Tokamak wordt kernfusie bestudeerd, met als uiteindelijk doel een economisch rendabele energiebron te krijgen.
Kernfusie kan alleen optreden als het plasma heet genoeg is, de dichtheid hoog genoeg is en de opsluittijd lang genoeg is.
Het woord Tokamak is afkomstig uit het Russisch: тороидальная камера с магнитными катушками, hetgeen betekent: torusvormige ruimte met magnetische spoelen.

In het plasma vindt kernfusie plaats. Hierbij ontstaan een heliumkern en een neutron uit de fusie van een deuteriumkern ($^{2}_{1}H$) en een tritiumkern ($^{3}_{1}H$).

Deuterium komt voor in zeewater. De oceanen bevatten voldoende deuterium om de totale wereldbevolking miljarden jaren van energie te voorzien bij de huidige energiebehoefte.
Tritium komt nauwelijks voor in de natuur. Tritium wordt verkregen door lithium-6-kernen te beschieten met neutronen. Bij deze reactie komt naast één tritiumkern nog één ander deeltje vrij.

3p **6** Geef de kernreactievergelijking voor de productie van tritium uit lithium-6.

Satelliet

Een satelliet cirkelt rond de aarde. Voor de omlooptijd T geldt:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

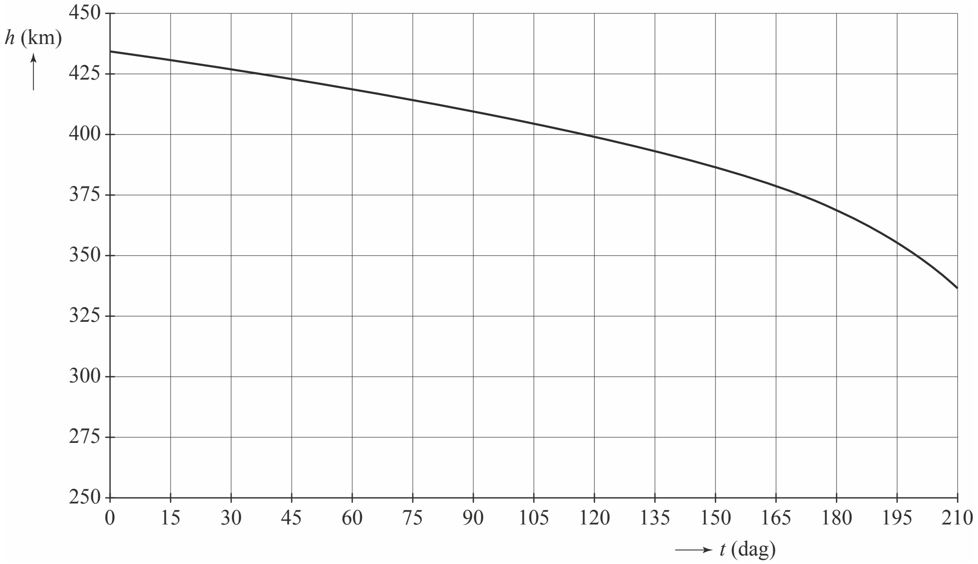
Hierin is:

– r de afstand van de satelliet tot het middelpunt van de aarde;
– G de gravitatieconstante;
– M de massa van de aarde.

4p **7** Leid deze formule af met behulp van formules in Binas.

Een satelliet die door de buitenste lagen van de atmosfeer rondcirkelt, ondervindt een kleine wrijvingskracht. Als hij geen aandrijfmotor heeft, zal hij daardoor in een steeds lagere baan rond de aarde gaan cirkelen en uiteindelijk op de aarde neerstorten.
In figuur 1 staat de grafiek van dit proces.

figuur 1



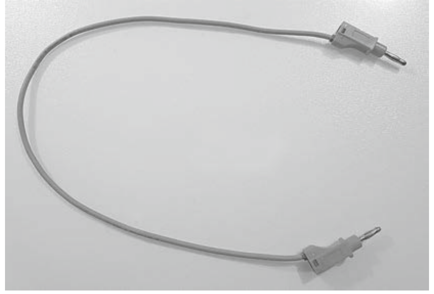
Op een bepaald moment bevindt de satelliet zich op een hoogte van 400 km boven de aarde.

5p **8** Bepaal mede met behulp van figuur 1 het hoogteverlies van de satelliet per omwenteling om de aarde.

Parallelle draden

Isa wil een elektrische schakeling maken met snoeren, waarvan er een is weergegeven in figuur 1.
De snoeren hebben een lengte van 50 cm en bestaan uit rond koperdraad met een plastic omhulling. Met een gevoelige weerstandsmeter meet Isa dat de weerstand van een snoer 0,023 Ω bedraagt.

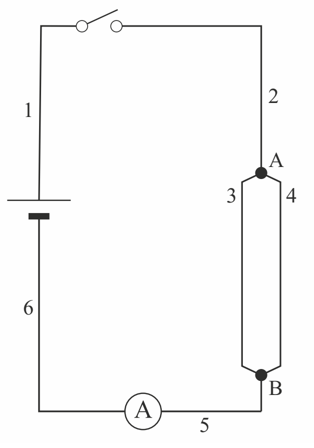
figuur 1



4p **9** Bereken de diameter van het koperdraad in het snoer.

Isa bouwt de schakeling zoals weergegeven in figuur 2. In deze schakeling worden zes van de snoeren gebruikt (zoals weergegeven in figuur 1).
Isa wil dat de maximale stroomsterkte door de schakeling 20 A is.

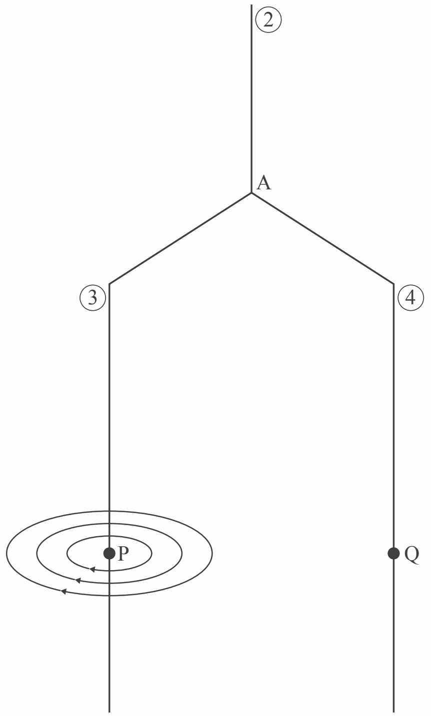
figuur 2



4p **10** Bereken de spanning die de voeding dan moet leveren.

In figuur 3 is een deel van figuur 2 vergroot weergegeven. Op de draden 3 en 4 zijn de punten P en Q aangegeven. Rondom beide stroomdraden afzonderlijk ontstaat een magnetisch veld. Dit veld is gedeeltelijk getekend rondom draad 3.

figuur 3



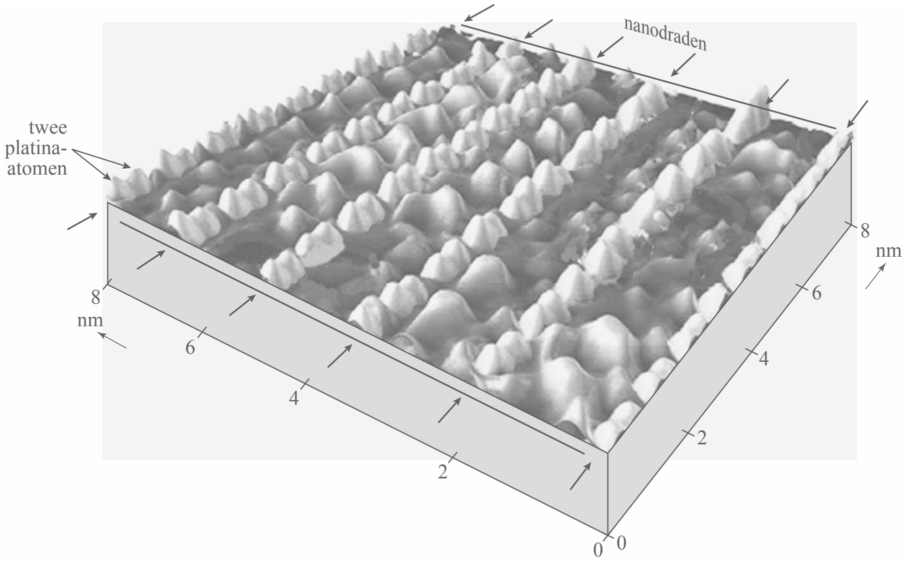
4p **11** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken de richting van de stroomsterkte in punt Q.
- Teken de richting van het magnetisch veld in punt Q.
- Teken de richting van de lorentzkracht in punt Q.
- Teken de richting van de lorentzkracht in punt P.

Geef indien van toepassing duidelijk aan of de richting ‘het papier in’ of ‘het papier uit’ is.

Elektronen tussen nanodraden

In 2005 zijn onderzoekers van de Universiteit Twente erin geslaagd nanodraden van platina te laten groeien op een oppervlak van germanium. In figuur 11 is een beeld van het resultaat te zien. Dit beeld is met behulp van een zogenaamde scanning tunneling microscoop (STM) gemaakt.

figuur 1



In figuur 1 is te zien dat de nanodraden slechts één atoom dik zijn. De platina-atomen van een nanodraad zijn paarsgewijs achter elkaar gerangschikt. De hobbeltjes tussen de nanodraden geven plaatsen met hoge elektronendichtheid aan. Het germaniumoppervlak van figuur 1 bevat gemiddeld 0,75 vrije elektronen per nm^2. Neem aan dat deze allemaal afkomstig zijn van de platinaatomen.

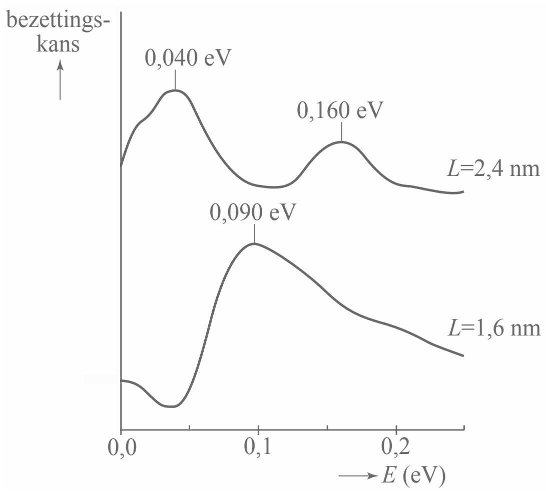
3p **12** Bepaal met behulp van figuur 1 hoeveel vrije elektronen elk platina-atoom gemiddeld aan het germaniumoppervlak levert.

De onderzoekers hebben bij zeer lage temperatuur het energiespectrum van de elektronen op het germaniumoppervlak gemeten. Zie figuur 2. De metingen zijn gedaan bij twee waarden van de afstand L tussen de nanodraden. Horizontaal is de energie uitgezet en verticaal de kans dat een bepaald energieniveau door een elektron is bezet.
Bij L = 2,4 nm kan een elektron door absorptie van een foton de overstap maken van de 0,040 eV-piek naar de 0,160 eV-piek.

3p **13** Bereken de golflengte die dit foton daartoe moet hebben.

In figuur 2 is bij drie pieken de waarde van de energie aangegeven. De onderzoekers schrijven de drie pieken toe aan opsluiting van de elektronen tussen de nanodraden. Ze verwachten dat de beweging van de elektronen loodrecht op de draden goed wordt beschreven door het ééndimensionale doosjesmodel.

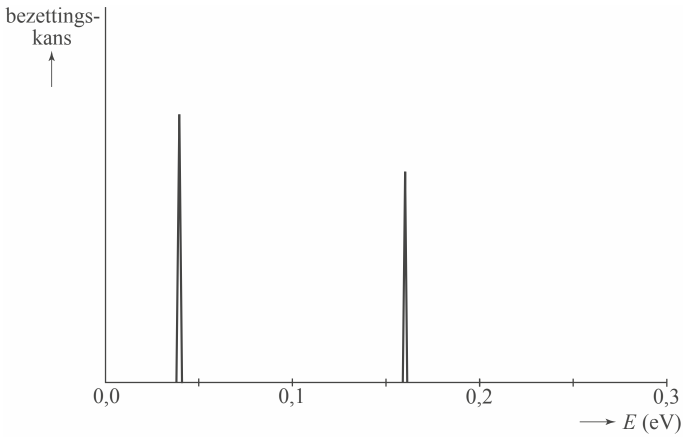
figuur 2



4p **14** Laat zien dat de onderlinge verhoudingen van de energieën van de drie pieken inderdaad kloppen met wat het ééndimensionale doosjesmodel voorspelt.

Als het ééndimensionale doosjesmodel een perfecte beschrijving van de elektronen tussen de nanodraden zou geven, dan zou de bezettingskans als functie van de energie er voor L = 2,4 nm uitzien als in figuur 3.

figuur 3



3p **15** Verklaar met het ééndimensionale doosjesmodel:
1 Waarom binnen het energiebereik in figuur 3 slechts twee pieken passen.
2 Waarom voor alle overige energieën in figuur 3 de bezettingskans nul is.

Examenopgaven per onderwerp met hints om je op weg te helpen en uitleg bij de antwoorden. Ook handig bij de voorbereiding op je schoolexamens!

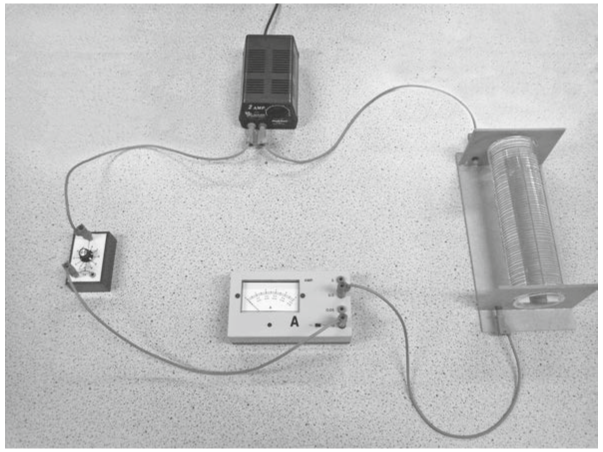
Deel 1 Oefenen op onderwerp

1 Vaardigheden (domein A)

Spoel

Jeroen en Baukje voeren een onderzoek uit aan een spoel. Ze maken hiervoor een opstelling met een serieschakeling van een voeding, een regelbare weerstand, een stroommeter en een spoel van koperdraad.
Zie figuur 1.
Een aantal gegevens staat hieronder weergegeven.

figuur 1



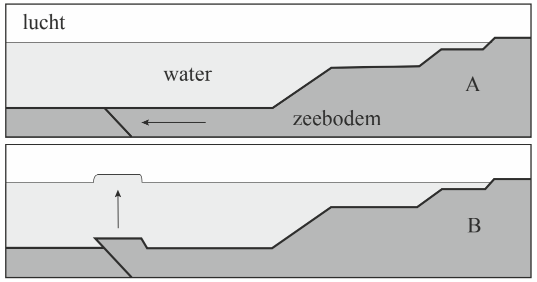
voedingsspanning	9,0 V
aantal windingen van de spoel	60
diameter van de spoel	7,2 cm
dikte van de koperdraad van de spoel	0,14 mm
lengte van de spoel	24 cm
maximaal vermogen in de spoel	0,18 W
weerstand van de spoel	15 Ω

1 Toon met een berekening aan dat de grootte van de weerstand van de spoel overeenkomt met de andere gegevens uit de tabel.

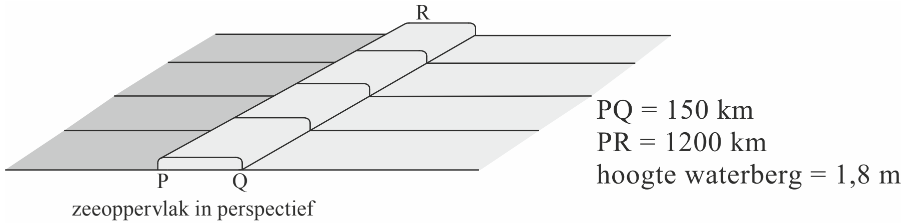
Tsunami

Figuur 1 laat op een vereenvoudigde manier zien hoe een gedeelte van de zeebodem door een aardverschuiving plotseling omhoog komt. Het zeewater dat boven dat gedeelte zit, wordt omhoog geduwd waardoor er een 'waterberg' aan het oppervlak ontstaat. Deze waterberg is meestal niet hoog, maar kan in de lengte en de breedte grote afmetingen hebben.
Figuur 2 toont zo'n waterberg met zijn afmetingen, in perspectief.
De figuren zijn schematisch en niet op schaal.

figuur 1



figuur 2



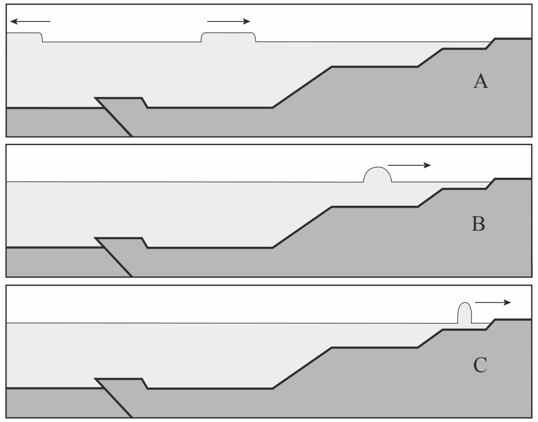
De waterberg kan een tsunami, een vloedgolf aan de kust, veroorzaken.
Het mogelijke gevaar van een tsunami hangt af van de zwaarte-energie van de waterberg ten opzichte van het normale zeepeil. Als deze energie meer dan 0,5 PJ (petajoule) bedraagt, is er kans op een tsunami.

2 Ga na met een berekening of de zwaarte-energie van de waterberg in figuur 2 de waarde van 0,5 PJ overschrijdt.

©ThiemeMeulenhoff

Figuur 3A laat zien hoe de waterberg zich naar rechts (en naar links) verplaatst als een golfberg.

figuur 3



De snelheid v waarmee de golfberg beweegt, wordt gegeven door:

$v = \sqrt{gd}$

Hierin is:
– g de valversnelling;
– d de diepte van de zee.

In figuur 3B en 3C nadert de waterberg de kust waarbij de diepte van de zee kleiner wordt. Er treden hierbij twee effecten op: de waterberg wordt smaller en de waterberg wordt hoger.

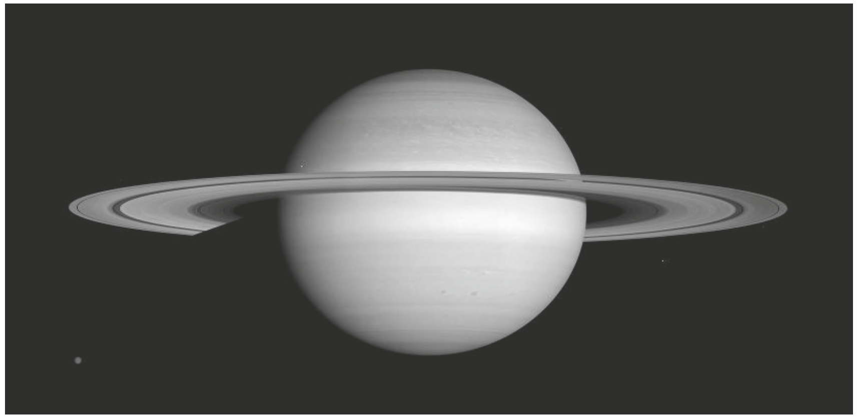
3 Geef voor beide effecten een natuurkundige verklaring.

©ThiemeMeulenhoff

Ringen van Saturnus

Saturnus is de op één na grootste planeet van ons zonnestelsel. Saturnus staat bekend om zijn ringen rond de evenaar, die bestaan uit ijs- en rotsdeeltjes.
De diameter van deze deeltjes kan variëren van een enkele centimeter tot een meter. Zie figuur 1.

figuur 1



De ringen strekken zich uit tot een straal van $137 \cdot 10^6$ m en blijken minder dan 100 m dik te zijn. Ze worden vaak met een DVD-schijfje vergeleken, wat betreft de verhouding tussen straal en dikte.

4 Laat aan de hand van een berekening zien of de Saturnus-ringen in verhouding veel dunner of veel dikker zijn dan een DVD-schijfje.

Hieronder wordt de geschiedenis van de ontdekking van de ringen van Saturnus kort weergegeven:

1610	Galilei ontdekt als eerste de ringen van Saturnus met een primitieve telescoop.
1612	Tot zijn verbazing kon Galilei geen ringen meer rond Saturnus waarnemen.
1655	Met een verbeterde telescoop stelt Huygens vast dat het echt om volledige ringen gaat.
1848	Roche berekent een theoretische limiet waarbinnen manen om een planeet uiteenvallen tot kleine brokstukjes.
1859	Maxwell laat theoretisch zien dat de ringen geen vast geheel kunnen vormen, maar moeten bestaan uit losse deeltjes.
1895	Keeler bevestigt de theorie van Maxwell experimenteel.

Het feit dat Galilei de ringen in 1612 niet meer kon vinden, zegt iets over de positie van de aarde ten opzichte van het draaivlak van de ringen.

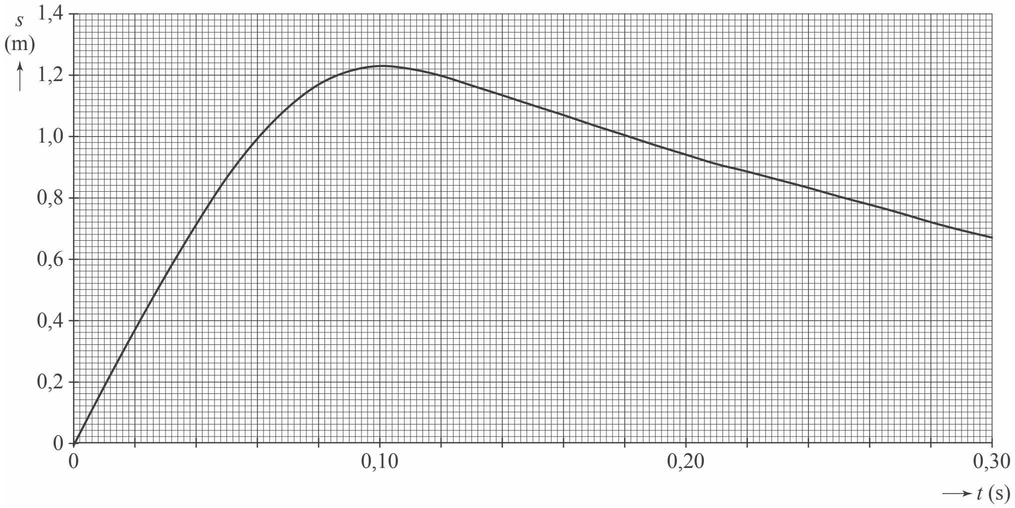
5 Leg dit uit aan de hand van een schets.

Botsproef

In een botsproef wordt de veiligheid van een auto getest door deze auto op een muur te laten botsen. De auto wordt daarbij van diverse kanten gefilmd. Met behulp van videometen kan dan een (*s*,*t*)-diagram gemaakt worden van een gemarkeerd punt ◐ op de auto. Op de uitwerkbijlage is het (*s*,*t*)-diagram gegeven van een bepaalde botsproef.

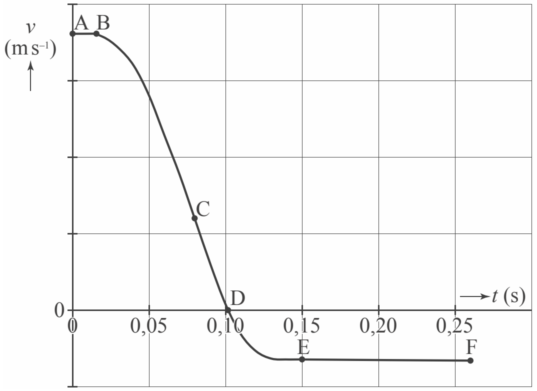
6 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de maximale snelheid van de auto tijdens deze botsproef.

uitwerkbijlage bij vraag 6



In figuur 1 is een schets van het (*v*,*t*)-diagram van de botsende auto gegeven. In dit diagram zijn zes punten, A tot en met F, met een stip aangegeven.

figuur 1



7 Leg uit op welk punt (A, B, C, D, E of F)
- de auto in aanraking komt met de muur,
- de auto de maximale vertraging ondergaat,
- de auto stopt met indeuken.

Op de uitwerkbijlage staan drie stellingen die gaan over een botsproef.
8 Geef per stelling aan of deze stelling waar is of niet waar.

uitwerkbijlage bij vraag 8

		waar	niet waar
1	De vertraging van de auto en de inzittenden moet zo groot mogelijk zijn zodat de resulterende kracht op de inzittenden zo klein mogelijk wordt.		
2	Een auto moet tijdens een botsing vervormen; een langere botsafstand zorgt namelijk voor een kleinere kracht op de inzittenden.		
3	Bij een twee keer zo grote snelheid moet er twee keer zo veel arbeid verricht worden om tot stilstand te komen.		

Een autofabrikant heeft ooit een promotiefilmpje gemaakt om de veiligheid van een bepaald model auto aan te tonen. Daarbij viel de auto 15 m verticaal recht omlaag. De foto's in figuur 2 tonen drie screenshots uit het filmpje.

figuur 2

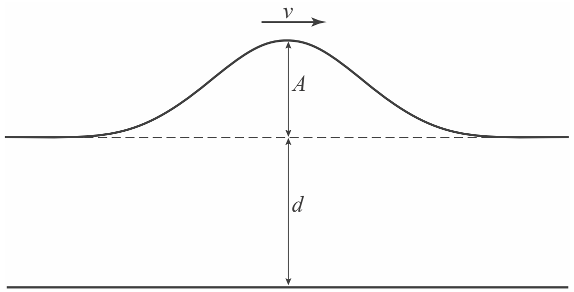
In de middelste foto van figuur 2 werken de normaalkracht F_N en de zwaartekracht F_Z op de auto.
9 Is in de middelste foto $F_N < F_Z$, $F_N = F_Z$, of is $F_N > F_Z$? Licht je antwoord toe.

Soliton-I

In Greensboro, Amerika, staat een bijzonder golfslagbad waar om de paar minuten één reusachtige golfberg, een soliton, gemaakt wordt. Om zo'n golfberg te maken wordt met een elektrische pomp water uit het zwembad in een waterreservoir gepompt.

In de natuurkunde wordt een enkele golfberg een soliton genoemd.
De soliton die in het golfslagbad ontstaat is in figuur 1 schematisch weergegeven.
Hierin is *A* de amplitude van de soliton, *d* de waterhoogte van het stilstaande water en *v* de snelheid van de soliton.

figuur 1



Het verband tussen de snelheid *v*, de waterhoogte *d* en de amplitude *A* is:

$v^2 = g(d + A)$, waarbij *g* de valversnelling is.

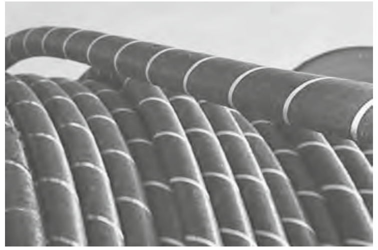
10 Beredeneer hoe de amplitude van een soliton verandert als deze golfberg met een constante snelheid in een ondieper gedeelte van het bad komt.

Een soliton kan alleen bestaan als de amplitude kleiner is dan $(0{,}78 \cdot d)$.
Bij een grotere amplitude breekt de golf, zoals dat in de branding van de zee ook gebeurt. De waterhoogte in het golfslagbad is 4,0 m.

11 Bereken de maximale snelheid van de soliton in het diepe deel van het golfslagbad.

BritNed

Sinds april 2011 ligt er op de zeebodem tussen Nederland en Engeland een 260 km lange, goed geïsoleerde, kabel. De kabel kan beide landen van stroom voorzien, afhankelijk van de prijs of de energiebehoefte.
Het project is gestart in 2007 en kreeg de naam BritNed.



De kabel is omwikkeld met in olie gedrenkt papier. Dit papier heeft enkele eigenschappen die het geschikt maken om de koperen kabel te isoleren.
Op de uitwerkbijlage staan enkele stofeigenschappen van het in olie gedrenkte papier.
12 Geef op de uitwerkbijlage met een kruisje aan of deze stofeigenschap bij voorkeur groot moet zijn, klein moet zijn, of niet van belang is in deze situatie.

uitwerkbijlage bij vraag 12

stofeigenschap	**bij voorkeur groot**	**bij voorkeur klein**	**niet van belang**
warmtegeleidingscoëfficiënt			
dichtheid			
soortelijke weerstand			

Auto

Figuur 1 toont een foto van een auto.
Door de snelheid waarmee de auto rijdt, is de afbeelding op de foto onscherp.
De onscherpte in de foto van figuur 1 is ontstaan doordat de sluiter van de fotocamera bij het nemen van de foto enige tijd open stond, in dit geval 1/30 seconde.

figuur 1

13 Schat de snelheid waarmee de auto reed. Licht je antwoord toe.

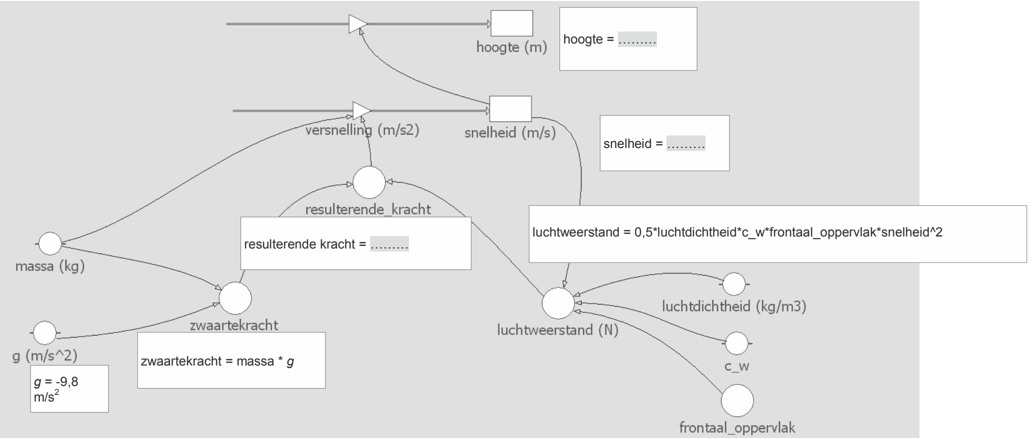
Parachutespringer

Een parachutist springt op 3800 meter hoogte uit het vliegtuig. Tijdens het eerste deel van de sprong blijft de parachute gesloten ('vrije val'). Zie figuur 1.

Met behulp van een computermodel wordt deze beweging onderzocht. Hierna staan twee varianten van zo'n model, een grafisch model en een tekstmodel. Voor de vragen 14 en 15 maak je gebruik van één van beide. Geef duidelijk aan welk model je gebruikt.

figuur 1

grafisch model



Bij sommige grootheden is de inhoud in een kader weergegeven. Dit zijn de gegevens die moeten worden ingevuld om het model te laten werken.

tekstmodel

MODEL	STARTWAARDEN
luchtweerstand=0,5*Cw*oppervlakte*luchtdichtheid*snelheid^2	hoogte = ...
zwaartekracht := massa*g	snelheid = ...
resulterende kracht :=	massa := 96 ' kg
versnelling := resulterende kracht/massa	g := −9.81 ' m/s^2
hoogte := hoogte + snelheid * dt	Cw := 1
snelheid := snelheid + versnelling * dt	luchtdichtheid := 1,3 ' kg/m^3
t := t + dt	

In het model ontbreken enkele gegevens.
14 Geef aan wat er moet worden ingevuld achter de grootheden hoogte, snelheid en resulterende kracht.

Op een hoogte van 1000 m wordt de parachute (oppervlakte 58 m^2) geopend.
Het openen van de parachute is nog niet in dit model verwerkt.
15 Leg uit welke grootheid in dit model hiervoor moet worden aangepast.
Formuleer daarvoor een modelregel.

Hints bij hoofdstuk 1

1 Wat is het verband tussen R, ρ, ℓ en A?
2 Hoe hoog boven het normale zeeniveau ligt het zwaartepunt van de waterberg?
3 Wat gebeurt er dus met de golfsnelheid; denk ook aan energiebehoud.
4 Bereken de dikte van het DVD-schijfje als de vergelijking met Saturnus juist zou zijn.
5 Wanneer zal je een DVD waarnemen als een rechte lijn?
6 Hoe vind je de snelheid v uit een (s,t)-diagram?
7 Waarmee komt de helling van de grafiek overeen?
8 Gebruik de tweede wet van Newton.
9 Staat in de middelste foto de auto stil of wordt hij vertraagd?
10 Wat gebeurt er met $(d + A)$ als v = constant?
11 Gebruik $v^2 = g \cdot (d + A)$.
12 Wat gebeurt er als de warmtegeleidingscoëfficiënt en de soortelijke weerstand klein zijn?
13 Maak een schatting van de verhouding breedte en hoogte van het linker achterwiel.
14 Welke krachten werken er tijdens de val op de parachutespringer?
15 Hoe groot is het frontale oppervlak als de parachute zich geopend heeft?

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 1

Spoel

1 De weerstand R van de spoel volgt uit: $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow R = \frac{\rho \cdot \ell}{A}$, waarin:
ρ = soortelijke weerstand van koper = $17 \cdot 10^{-9}\ \Omega$ m (Binas 8)
ℓ = lengte van de koperdraad = $N \cdot O = N \cdot \pi \cdot d_{sp}$ (Binas 36B), met:
  N = aantal windingen van de spoel = 60 (zie de tabel)
  O = omtrek van de spoel = $\pi \cdot d_{sp}$
  d_{sp} = diameter van de spoel = 7,2 cm = $7{,}2 \cdot 10^{-2}$ m (zie de tabel)
  zodat: $\ell = 60 \cdot \pi \cdot 7{,}2 \cdot 10^{-2} = 13{,}6$ m
A = doorsnede van de koperdraad = $\pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot d_{dr}\right)^2 = \frac{1}{4}\pi \cdot d_{dr}^{\ 2}$ (Binas 36B), met:
  r = straal van de doorsnede van de draad
  d_{dr} = dikte van de draad = 0,14 mm (zie de tabel) = $0{,}14 \cdot 10^{-3}$ m
  zodat: $A = \frac{1}{4}\pi \cdot (0{,}14 \cdot 10^{-3})^2 = 1{,}54 \cdot 10^{-8}\ \text{m}^2$

Invullen: $R = \frac{17 \cdot 10^{-9} \cdot 13{,}6}{1{,}54 \cdot 10^{-8}} = 15\ \Omega$

Deze waarde van R staat ook in de tabel opgegeven.

Tsunami

2 De zwaarte-energie E_z van de waterberg volgt uit: $E_z = m \cdot g \cdot h_z$ (Binas 35A4), waarin:
m = massa van de waterberg = $\rho \cdot V$ (Binas 35C1), met:
  ρ = dichtheid van zeewater = $1{,}024 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 11)
  V = volume van de waterberg = $\ell \cdot b \cdot h$, met:
    ℓ = PQ = 150 km = $150 \cdot 10^3$ m
    b = PR = 1200 km = $1200 \cdot 10^3$ m
    h = hoogte waterberg = 1,8 m
    zodat: $V = 150 \cdot 10^3 \cdot 1200 \cdot 10^3 \cdot 1{,}8 = 3{,}24 \cdot 10^{11}\ \text{m}^3$
  zodat: $m = 1{,}024 \cdot 10^3 \cdot 3{,}24 \cdot 10^{11} = 3{,}3 \cdot 10^{14}$ kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
h_z = hoogte van het zwaartepunt van de waterberg t.o.v. het normale zeeniveau = $= \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 1{,}8 = 0{,}9$ m
Invullen: $E_z = 3{,}3 \cdot 10^{14} \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}9 = 2{,}9 \cdot 10^{15}$ J = 2,9 PJ (Binas 2)
Dus de zwaarte-energie is groter dan 0,5 PJ.

3 Als het water ondieper wordt, wordt de golfsnelheid v kleiner, omdat $v = \sqrt{g \cdot d}$ en d wordt kleiner.
- De golflengte λ van de golf wordt dus ook kleiner, want $v = f \cdot \lambda$ (Binas 35B2) en f is constant. De golfberg wordt dus korter.
  Je kunt ook zeggen dat de voorkant van de golf het eerst met de geringere diepte te maken krijgt en dus gedurende enige tijd langzamer gaat bewegen dan de achterkant. De achterkant haalt dan de voorkant een stuk in.
- De zwaarte-energie E_z van de golfberg verandert door het ondiepere water echter niet en dus moet de golfberg hoger worden:
  $E_z = m \cdot g \cdot h_z = \rho \cdot V \cdot g \cdot h_z = \rho \cdot \ell \cdot b \cdot h \cdot g \cdot \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot b \cdot g \cdot \ell \cdot h^2$ (zie vraag 2)
  Hierin zijn ρ, b en g constant, dus als ℓ kleiner wordt, moet h groter worden.

©ThiemeMeulenhoff

Ringen van Saturnus

4 Als een DVD-schijfje, wat betreft de verhouding tussen straal en dikte, te vergelijken zou zijn met de ringen van Saturnus, zouden we de dikte d_{DVD} van een DVD als volgt kunnen berekenen:

$$\frac{d_{DVD}}{r_{DVD}} = \frac{d_{ring}}{r_{ring}} \Rightarrow d_{DVD} = d_{ring} \cdot \frac{r_{DVD}}{r_{ring}}, \text{ waarin:}$$

r_{DVD} = geschatte straal van een DVD = 6 cm = $6 \cdot 10^{-2}$ m
d_{ring} = maximale dikte van de ringen van Saturnus = 100 m
r_{ring} = grootste straal van de ringen van Saturnus = $137 \cdot 10^{6}$ m

Invullen: $d_{DVD} = 100 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-2}}{137 \cdot 10^{6}} = 4 \cdot 10^{-8}$ m

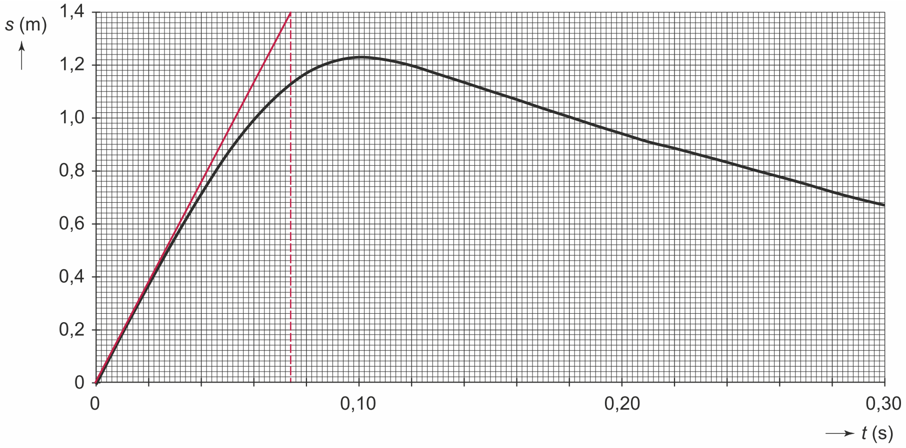
Een DVD-schijfje is veel dikker dan $4 \cdot 10^{-8}$ m, dus de Saturnus-ringen zijn in verhouding veel dunner dan een DVD-schijfje.

5 Zie de tekening.

Zodra de aarde zich in het draaivlak van de ringen van Saturnus bevindt, is alleen het zijvlak van de ringen zichtbaar. Dit zal in 1612 het geval zijn geweest.
Galilië kon met zijn gebrekkige instrumenten die dunne streep niet waarnemen.

Botsproef

6 Zie de tekening.



De snelheid van de auto op een bepaald tijdstip is de grootte van de helling van de raaklijn aan de grafiek in het (s,t)-diagram op dat tijdstip.
Op $t = 0$ is de helling van de raaklijn aan de grafiek zo steil mogelijk. De maximale snelheid v van de auto is dus:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1{,}4}{0{,}074} = 19 \text{ m s}^{-1}$$

7
- De auto komt in aanraking met de muur in het punt B, want daar begint de snelheid van de auto af te nemen.
- De auto ondergaat de maximale vertraging in het punt C, want daar loopt de raaklijn aan de grafiek in het (v,t)-diagram het steilst.
  De versnelling op een bepaald tijdstip is de grootte van de helling van de raaklijn aan de grafiek in het (v,t)-diagram op dat tijdstip.
- De auto stopt met indeuken in het punt D, want daar is de snelheid 0.

8 Zie de tabel.

		waar	niet waar
1	De vertraging van de auto en de inzittenden moet zo groot mogelijk zijn zodat de resulterende kracht op de inzittenden zo klein mogelijk wordt.		X
2	Een auto moet tijdens een botsing vervormen: een langere botsafstand zorgt namelijk voor een kleinere kracht op de inzittenden.	X	
3	Bij een twee keer zo grote snelheid moet er twee keer zo veel arbeid verricht worden om tot stilstand te komen.		X

stelling 1 is niet waar: De vertraging van de auto en de inzittenden moet juist zo klein mogelijk zijn.
stelling 2 is waar: Bij een langer botstraject duurt het langer voor de auto tot stilstand komt en zal de vertraging a kleiner zijn. Dan is ook de kracht $F = m \cdot a$ *op de inzittenden kleiner.*
stelling 3 is niet waar: Er geldt: $W = \Delta E_k = \Delta\left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2\right)$ (Binas 35A4).
Als v 2x zo groot is, is $\Delta\left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2\right)$ *4x zo groot, dus er moet meer dan 2x zoveel arbeid worden verricht om tot stilstand te komen.*

9 In de middelste foto werken er twee krachten op de auto: de zwaartekracht F_z omlaag en de normaalkracht F_N omhoog. De auto wordt vertraagd (op de derde foto is de auto nog iets verder ingedeukt), dus de resulterende kracht op de auto werkt omhoog.
Dus: $F_N > F_z$

Soliton-I

10 Er geldt: $v^2 = g \cdot (d + A)$
Als de snelheid v constant is, is $(d + A)$ ook constant (g = valversnelling = constant).
Als de golf in een ondieper gedeelte van het bad komt, wordt de waterhoogte d kleiner, en de amplitude A dus groter.

11 De maximale snelheid v_{max} van de soliton in het diepe deel van het golfslagbad vinden we met: $v_{max}^{2} = g \cdot (d + A)$, waarin:
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
d = waterhoogte = 4,0 m
A = maximale amplitude van de soliton = $0{,}78 \cdot d = 0{,}78 \cdot 4{,}0 = 3{,}12$ m
Invullen: $v_{max}^{2} = 9{,}81 \cdot (4{,}0 + 3{,}12) = 69{,}85 \Rightarrow v_{max} = \sqrt{69{,}85} = 8{,}4 \text{ m s}^{-1}$

BritNed

12 Zie de ingevulde uitwerkbijlage.
De warmte-geleidings-coëfficiënt van de stof moet bij voorkeur groot zijn, zodat de warmte die in de kabel vrijkomt, goed kan worden afgevoerd naar het zeewater.
De soortelijke weerstand van de stof moet bij voorkeur groot zijn, om te voorkomen dat er ook een elektrische stroom in het isolatiemateriaal gaat lopen.

stofeigenschap	bij voorkeur groot	bij voorkeur klein	niet van belang
warmtegeleidingscoëfficiënt	X		
dichtheid			X
soortelijke weerstand	X		

Auto

13 De geschatte snelheid v van de auto volgt uit: $s = v \cdot t$ (Binas 35A1) $\Rightarrow$ $v = \frac{s}{t}$, met:
s = afstand die de auto aflegt gedurende de sluitertijd van de camera
Die afstand kun je als volgt schatten:
Op de foto is het achterwiel ongeveer twee-en-een-half maal zo breed als hoog.
Gedurende de sluitertijd heeft de auto dus een afstand gelijk aan anderhalf maal de diameter van het achterwiel afgelegd, dus ongeveer 1,5 · 0,6 m = 0,9 m
(0,6 m is de geschatte diameter van het achterwiel).

t = sluitertijd van de camera = $\frac{1}{30}$ s

Invullen: $v = \dfrac{0{,}9}{\frac{1}{30}} = 27\ \text{m s}^{-1}$

Parachutespringer

14 De startwaarden van de sprong, de waarden op het moment dat de parachutespringer uit het vliegtuig springt, zijn:
hoogte = 3800 (‘m) en (verticale) snelheid = 0 (‘m s^–1)
Tijdens de val ondervindt de parachutespringer de zwaartekracht omlaag en de luchtweerstand omhoog, zodat in beide modellen moet worden ingevuld:
resulterende kracht = zwaartekracht – luchtweerstand

15 Gedurende de vrije val tot een hoogte van 1000 m, was het frontale oppervlak slechts dat van de springer zelf. De waarde daarvan is in beide modellen niet ingevuld.
De parachute opent op een hoogte van 1000 m.
In het grafisch model moet bij frontaal_oppervlak dus worden ingevuld:
Als hoogte < 1000 dan frontaal_oppervlak = 58
Idem in het tekstmodel: als hoogte < 1000 dan oppervlakte = 58

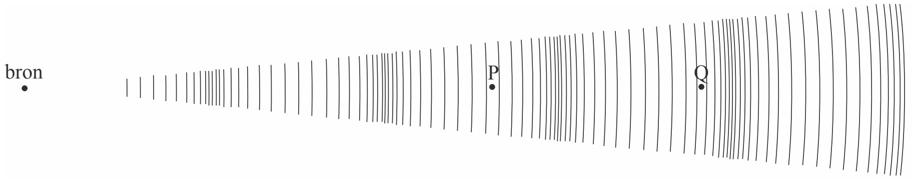
©ThiemeMeulenhoff

2 Informatie-overdracht (domein B1)

Geluid

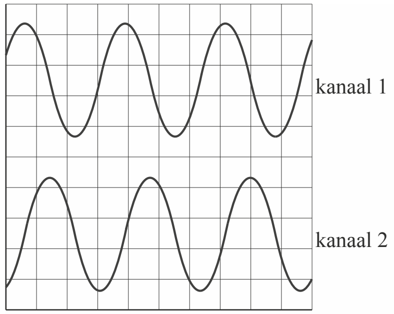
In figuur 1 is schematisch een bron weergegeven die geluidsgolven uitzendt. Geluidsgolven zijn longitudinaal. In figuur 1 zie je verdichtingen en verdunningen die zich naar rechts verplaatsen. De ruimte is gevuld met koolzuurgas (CO_2).

figuur 1



In de punten P en Q wordt het geluid waargenomen met behulp van twee microfoons die aangesloten zijn op een oscilloscoop. Dit levert het beeld op de oscilloscoop dat is weergegeven in figuur 2.
De tijdbasis van de oscilloscoop is ingesteld op 0,5 ms/hokje.

figuur 2



1 Bepaal de frequentie van het waargenomen geluid.

De amplitude van het geluid in P is verschillend van de amplitude van het geluid in Q. Toch zijn de amplitudes op het scoopbeeld gelijk. Dat komt omdat de gevoeligheid in mV/hokje van de twee kanalen anders is ingesteld.

2 Leg uit of de gevoeligheid van het kanaal van de microfoon in P groter of kleiner is dan de gevoeligheid van het kanaal van de microfoon in Q.

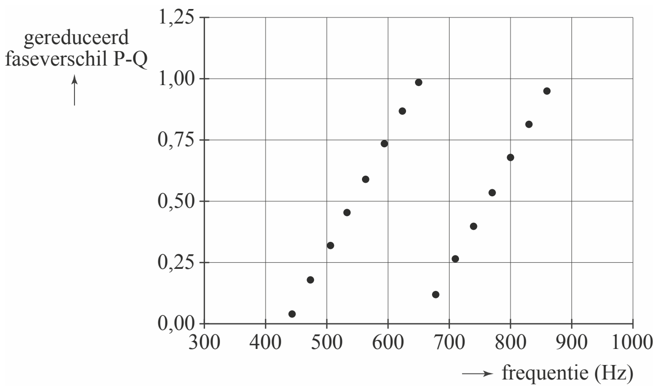
De twee signalen in het oscilloscoopbeeld vertonen een faseverschil.

3 Leg op grond daarvan uit of de microfoon in P aangesloten is op kanaal 1 of op kanaal 2.

©ThiemeMeulenhoff

Voor het bepalen van de geluidssnelheid in koolzuurgas worden de microfoons verplaatst. De afstand tussen P en Q is nu 1,19 m.
De frequentie van de geluidsbron is regelbaar. Bij verschillende frequenties wordt het gereduceerde faseverschil tussen P en Q bepaald. Zie figuur 3.

figuur 3

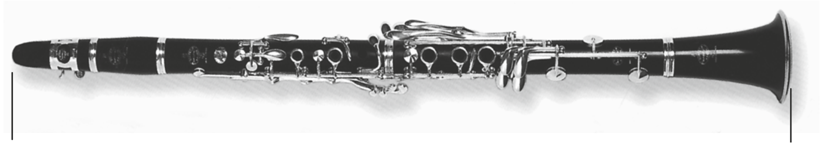


4 Bepaal met behulp van figuur 3 de geluidssnelheid in dit koolzuurgas.

Klarinet

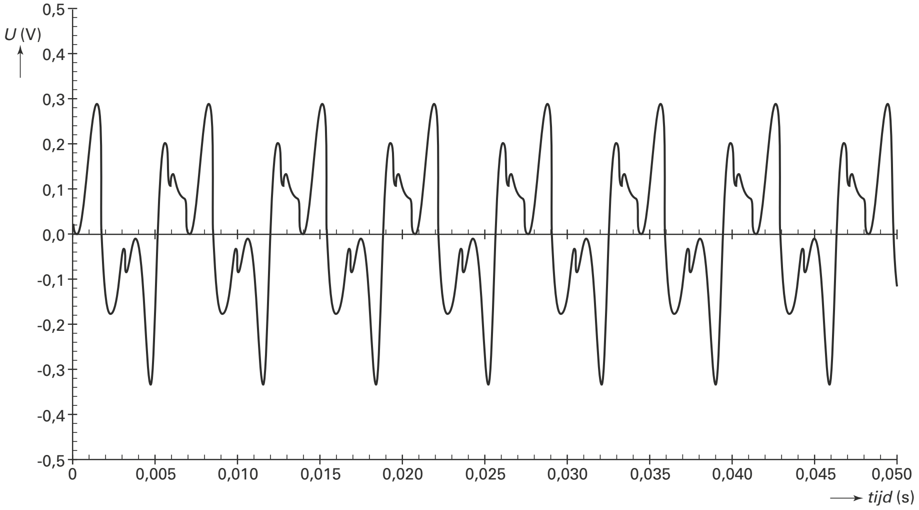
Een klarinet is een houten blaasinstrument. Zie figuur 1.

figuur 1



Aan het mondstuk van de klarinet zit een zogeheten ‘riet’.
Bij het aanblazen van de klarinet gaat dit riet trillen. Deze trilling brengt de luchtkolom in het middenstuk van de klarinet in een staande golfbeweging. In de klarinet zitten gaten. Door één of meer van deze gaten te sluiten, kunnen verschillende tonen worden gemaakt. Zo’n toon is geen zuivere harmonische trilling, maar een samenstelling van meerdere harmonische trillingen: een trilling met de grondfrequentie en trillingen met veelvouden van deze grondfrequentie. Als alle gaten gesloten zijn, produceert de klarinet zijn laagste toon.

figuur 2

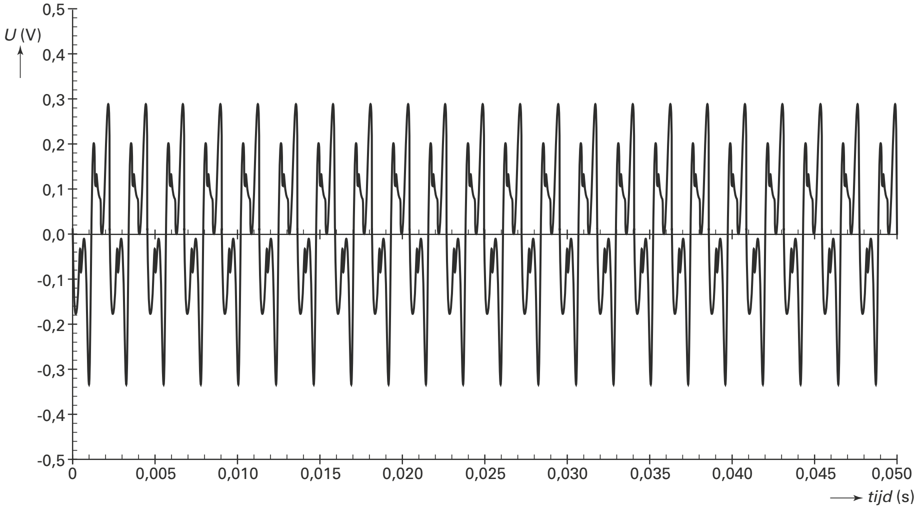


Bij het open uiteinde (de beker) van de klarinet plaatst men een microfoon.
In figuur 2 is het uitgangssignaal van de microfoon weergegeven als functie van de tijd bij de laagste toon van de klarinet. Bij deze meting was de temperatuur van de lucht in de klarinet 20 °C.

5 Bepaal de grondfrequentie van de laagste toon van de klarinet.

De eerste boventoon van de laagste toon kan gemaakt worden door een bepaald gat te openen. Figuur 3 toont het uitgangssignaal van de microfoon bij deze boventoon.

figuur 3



6 Leg uit of de kant van het riet opgevat kan worden als een gesloten of een open uiteinde.

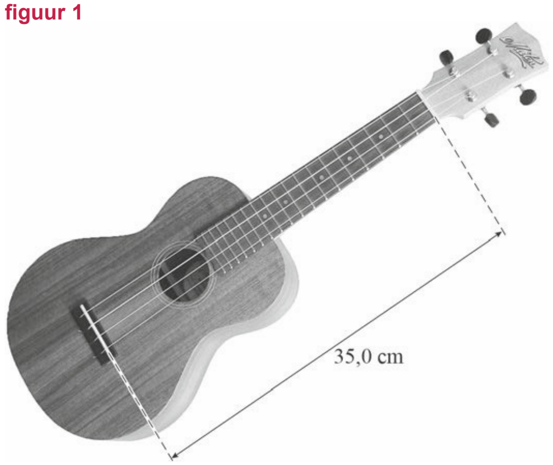
Op een andere dag worden dezelfde metingen herhaald. Nu blijkt dat de frequentie van de eerste boventoon van de klarinet 3 Hz lager is dan de frequentie die hoort bij figuur 3.

7 Laat met behulp van een berekening zien of het verschil van 3 Hz het gevolg zou kunnen zijn van een eventueel temperatuurverschil tussen beide dagen.

Ukelele-I

Een ukelele is een klein formaat gitaar met vier snaren. Zie figuur 1.
Daarin is aangegeven tussen welke twee punten de snaren trillen. Een ukelele kan op verschillende manieren gestemd worden.
Een van deze stemmingen is zoals weergegeven in tabel 1.

figuur 1



tabel 1

snaar	grondtoon	*f* (Hz)
1	G	392
2	C	262
3	E	330
4	A	440

Hieruit blijkt dat de golfsnelheid in de snaren van de ukelele niet gelijk is.

8 Leg dat uit.

Als snaar 3 en 4 tegelijk worden aangetokkeld, is er een klank te horen die als prettig ervaren wordt. We zeggen ook wel dat deze twee snaren 'stemmen'. Een verklaring hiervoor is dat deze snaren een of meer gemeenschappelijke boventonen hebben.

9 Bepaal de frequentie van de laagste gemeenschappelijke boventoon van de snaren 3 en 4.

In de literatuur ontdekt Camiel dat het verband tussen de spankracht en de golfsnelheid in een snaar kan worden weergegeven met behulp van:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}, \text{ met } \mu = \frac{m}{\ell} \qquad (1)$$

Hierin is:
- v de golfsnelheid (in m s^{-1}),
- F de spankracht (in N),
- μ de massa per lengte-eenheid (in kg m^{-1}),
- m de massa (in kg),
- ℓ de lengte van de snaar (in m).

Camiel beseft dat de frequenties van de snaren bekend zijn. Hij kan de spankracht in een snaar dan berekenen met behulp van:

$$F = \frac{\lambda^2 f^2 \pi d^2 \rho}{4} \qquad (2)$$

Hierin is:
- λ de golflengte (in m),
- f de frequentie (in Hz),
- d de dikte van de snaar (in m),
- ρ de dichtheid van het materiaal van de snaar (in kg m^{-3}).

10 Leid formule (2) af uit formule (1) en formules in BINAS.

De dikte van snaar 1 bedraagt 0,65 mm. De ukelele is gestemd op de manier zoals weergegeven in tabel 1.

11 Bepaal de spankracht in snaar 1 zoals die uit formule (2) volgt.

Snaar 3 (de 'E'-snaar) van de ukelele brengt dezelfde toon voort als de hoogste snaar van een klassieke gitaar. Zo'n snaar is ook gemaakt van nylon en even dik als de snaar van de ukelele, maar heeft een lengte van 64,5 cm. De spankracht in de twee snaren is niet gelijk.

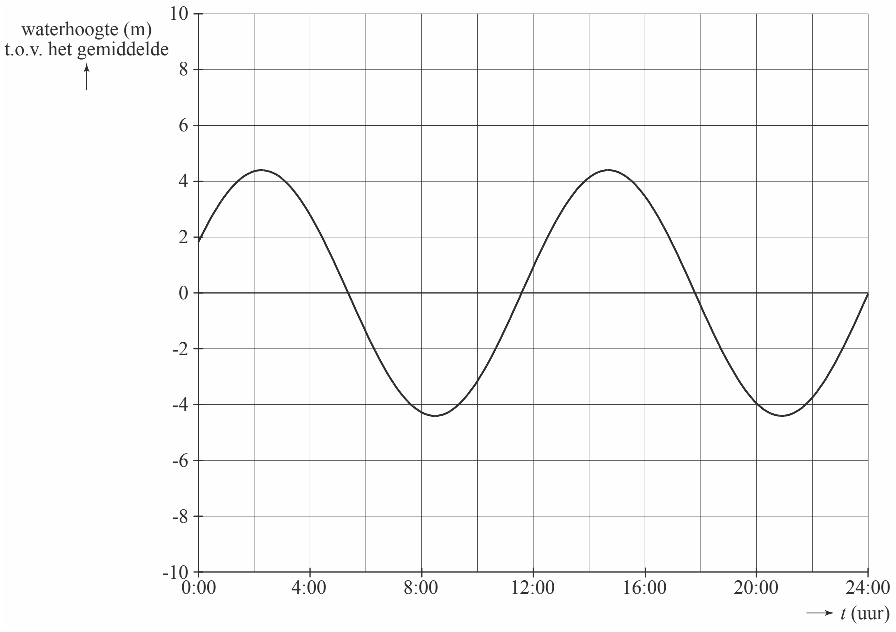
12 Bepaal de verhouding van de spankrachten: $\frac{F_{gitaar}}{F_{ukelele}}$

Getijdenresonantie

Op sommige plekken op aarde is het verschil tussen eb en vloed zeer groot.
De plaats Saint John aan de Fundybaai in Canada is zo'n plaats. De waterhoogte in Saint John is gedurende één etmaal gemeten. Op de uitwerkbijlage staat een grafiek van deze metingen.

13 Bepaal met behulp van de figuur hierna de maximale stijgsnelheid van het water in Saint John in centimeter per minuut.

uitwerkbijlage bij vraag 13

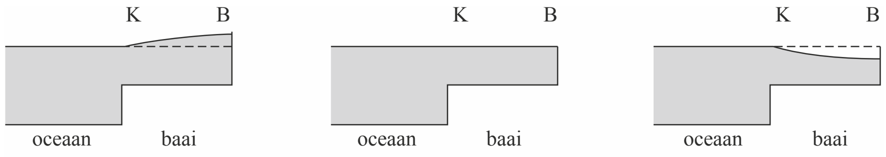


De 325 km lange Fundybaai waaraan Saint John ligt, is weergegeven in figuur 1.

figuur 1

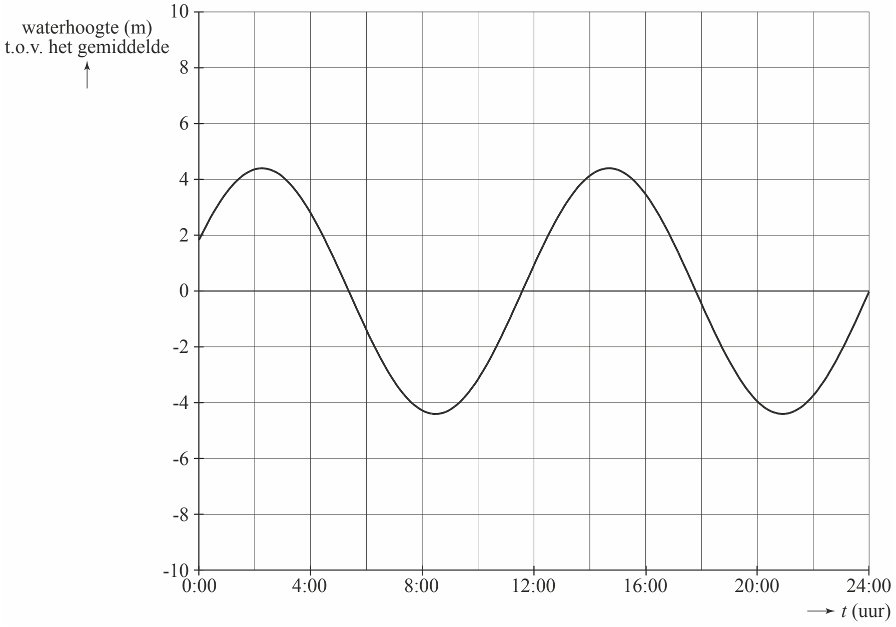
Door zijn vorm en afmetingen ontstaat in de Fundybaai een staande golf.
Deze is in figuur 2 in zijaanzicht op drie momenten schematisch weergegeven.
Figuur 2 laat ook zien dat de baai minder diep is dan de oceaan.

figuur 2



14 Schets in de figuur hierna de waterhoogte bij Cumberland County, aan het einde van de baai, als functie van de tijd.

uitwerkbijlage bij vraag 14



De golflengte van de staande golf is gelijk aan 4 maal de baailengte.

15 Leg uit hoe dit blijkt uit figuur 2.

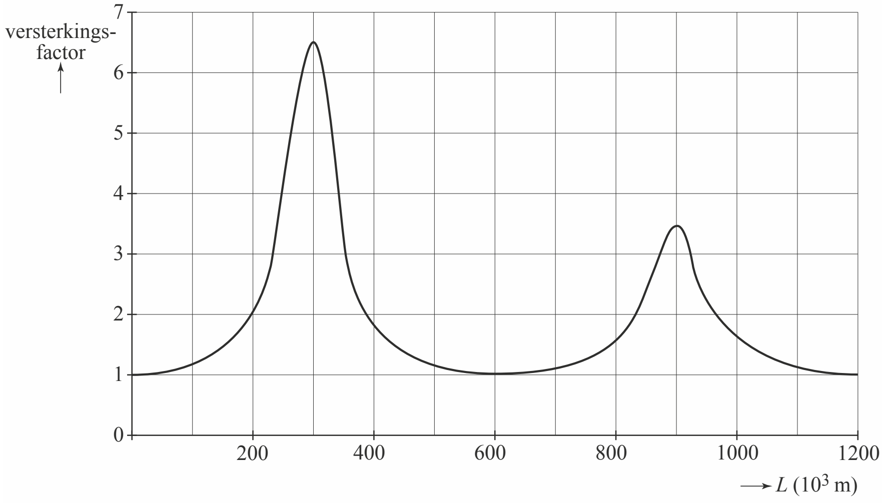
Het verschijnsel dat optreedt in de Fundybaai heet 'getijdenresonantie'.
Dit verschijnsel treedt op meerdere plaatsen op aarde op. In een waterloopkundig laboratorium bestuderen wetenschappers met behulp van een computermodel de voorwaarden waaronder getijdenresonantie plaats kan vinden. Bij getijdenresonantie is er sprake van een grote versterkingsfactor.
De versterkingsfactor definieert men als:

$$\text{versterkingsfactor} = \frac{\text{maximale hoogteverschil in de baai}}{\text{hoogteverschil buiten de baai}}$$

De golfsnelheid in de baai hangt af van de diepte van de baai.

Een van de modellen levert voor een baai met een diepte gelijk aan de diepte van de Fundybaai de volgende grafiek van de versterkingsfactor als functie van de baailengte *L*. Zie figuur 3.

figuur 3



Je ziet dat hier maximale getijdenresonantie optreedt bij een baailengte van 300 km.

16 Bepaal welke waarde voor de golfsnelheid gebruikt is in dit model.

Figuur 3 laat zien dat bij een baailengte van 900 km de versterkingsfactor ook hoog is.

17 Verklaar dit.

De werkelijke lengte van de Fundybaai bedraagt 325 km.
Door klimaatverandering kan de zeespiegel gaan stijgen.
Hierdoor wordt de voortplantingssnelheid in de baai groter, waardoor de maxima in figuur 3 verschuiven. Bewoners aan de Fundybaai maken zich ongerust dat ze hierdoor te maken krijgen met een nog groter getijdenverschil.

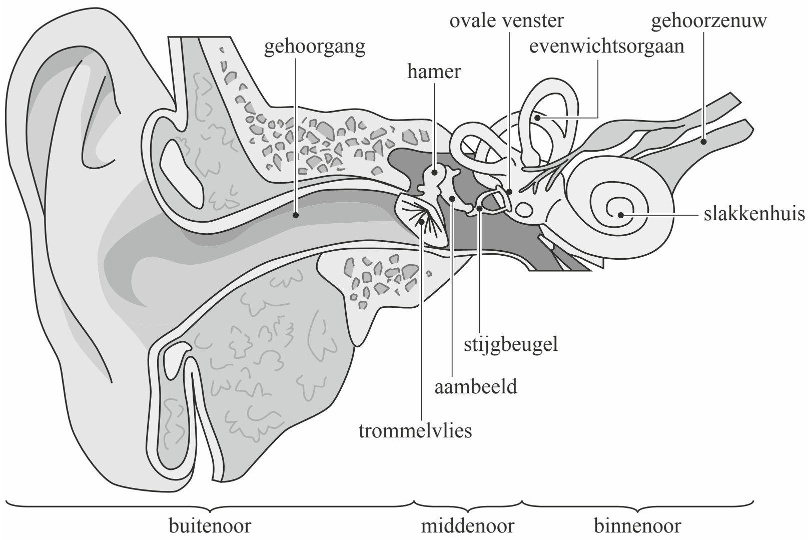
18 Leg uit of de bewoners aan de baai zich terecht ongerust maken.

 ©ThiemeMeulenhoff

Oor

Het oor bestaat uit drie gedeeltes. Zie figuur 1.

figuur 1



- Het **buitenoor** dat aan één kant wordt afgesloten door het trommelvlies doet dienst als resonantieholte.
- Het **middenoor** brengt geluidstrillingen over van het trommelvlies naar het ovale venster.
- Het **binnenoor** zet trillingen in het slakkenhuis om in zenuwpulsen die naar de hersenen worden gestuurd

Het **buitenoor** is op te vatten als een buis die aan één kant gesloten is door het trommelvlies. De gehoorgang is bij een volwassen persoon 28 mm lang. Door resonantie wordt geluid met een frequentie van 3 kHz in het buitenoor versterkt.

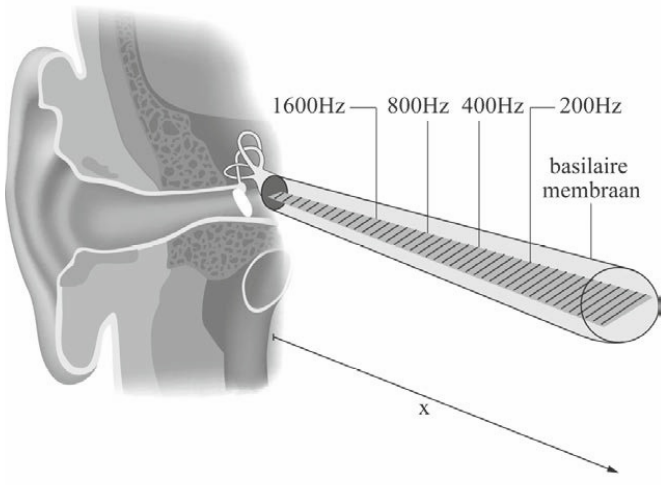
19 Toon dat aan met behulp van een berekening.

20 Leg uit of de frequentie waarbij versterking optreedt bij een baby groter of kleiner is dan bij een volwassen persoon.

In het **binnenoor** zit het slakkenhuis. In figuur 2 is een tekening gemaakt van het slakkenhuis in uitgerolde toestand. Het is te beschouwen als een met vloeistof gevulde buis met het basilaire (basale) membraan als scheidingswand. Op het basilaire membraan zitten kleine massa's, die allemaal een andere eigenfrequentie hebben.

©ThiemeMeulenhoff

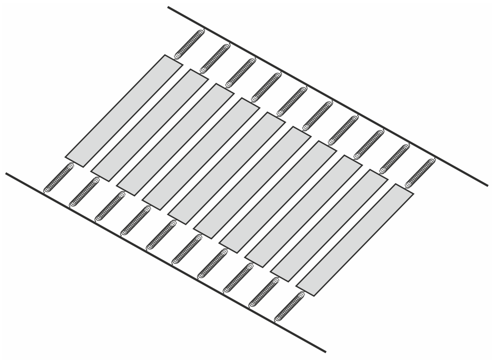
figuur 2



Als het ovale venster in trilling gebracht wordt, ontstaat in de vloeistof rondom het basilaire membraan een druktrilling. Als de eigenfrequentie van een kleine massa gelijk is aan de frequentie van de druktrilling, gaat die kleine massa meetrillen.
In figuur 2 zijn de eigenfrequenties op verschillende plaatsen van het basilaire membraan aangegeven.

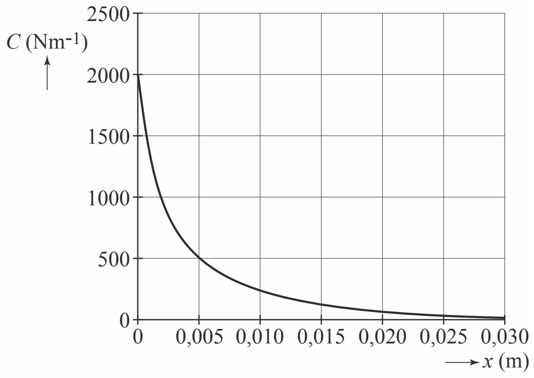
De werking van het basilaire membraan is te beschrijven met behulp van een model. In dit model bestaat het basilaire membraan uit een groot aantal kleine massa's aan veertjes.
In figuur 3 is dit schematisch weergegeven.

figuur 3



De stijfheid van het basilaire membraan is vergelijkbaar met de veerconstante *C* van een massa-veersysteem.
De stijfheid van het basilaire membraan verandert met de afstand *x* tot het ovale venster. Zie figuur 4.

figuur 4



Op een afstand van 5,0 mm van het ovale venster bedraagt de eigenfrequentie 3,0 kHz.

21 Bepaal de massa in het gebruikte model op die plaats van het basilaire membraan.

22 Laat met behulp een schatting zien of in dit model de massa's toenemen of afnemen als de afstand *x* groter wordt.

Hints bij hoofdstuk 2

1 Bepaal uit figuur 2 de trillingstijd.
2 Welk punt ligt het dichtst bij de bron?
3 Is de fase van de golf in P groter of kleiner dan die in Q?
4 Bij welke frequentie geldt: $PQ = \lambda$?
5 Bepaal uit figuur 2 de trillingstijd van één trilling.
6 Wat is de verhouding van de frequenties van de eerste boventoon en de grondtoon?
7 Bereken de geluidssnelheid op de andere meetdag.
8 Wat is het verband tussen v, λ en f?
9 Hoe verhouden de frequenties van de grondtoon en de boventonen zich?
10 $m = \rho \cdot V$.
11 Hoeveel maal past de golflengte van de grondtoon op de lengte van de snaar?
12 Alleen de golflengten van de snaren van de ukelele en de gitaar verschillen.
13 Hoe vind je uit een (s,t)-diagram de snelheid v?
14 Hoe kan er een staande golf in de baai ontstaan?
15 Hoe groot is een knoop-buik afstand uitgedrukt in λ?
16 De golflengte van de staande golf is gelijk aan 4 maal de baailengte.
17 Wanneer treedt er voor een aan één kant gesloten systeem de tweede resonantie op?
18 Wat gebeurt er met de golflengte λ van de staande golf?
19 Wat is het verband tussen f, v en λ?
20 Wat weet je in het geval van een baby van de golflengte waarbij resonantie optreedt?
21 Wat is het verband tussen T, m en C?
22 Gebruik figuur 2 en figuur 4.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 2

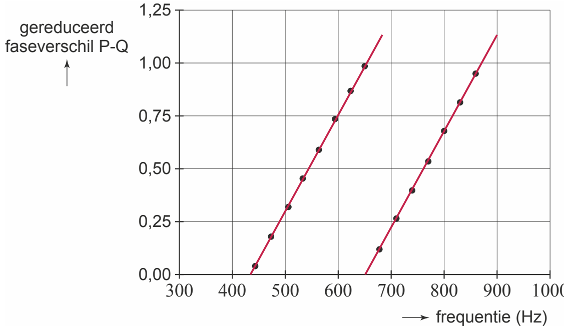
Geluid

1 De frequentie f van het waargenomen geluid volgt uit: $f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:
T = trillingstijd van het geluid
Op het oscilloscoopscherm ziet men iets meer dan 3 volledige trillingen
Aflezen in figuur 2: 3 volledige sinussen = 9,8 hokje = 9,8 · 0,5 ms = 4,9 ms
$\Rightarrow T = \frac{4,9}{3} = 1,63 \text{ ms} = 1,63 \cdot 10^{-3}$ s
Invullen: $f = \frac{1}{1,63 \cdot 10^{-3}} = 6,1 \cdot 10^{2}$ Hz

2 P ligt dichter bij de bron dan Q en dus is de amplitude van de golf in P groter dan in Q. Het signaal van het geluid in P moet dus minder versterkt worden. Het kanaal van de microfoon in P moet dus een kleinere gevoeligheid hebben dan dat van de microfoon in Q.

3 De top van kanaal 1 verschijnt op het oscilloscoopbeeld ongeveer 0,8 hokje eerder dan de top van kanaal 2. Eén hele sinus beslaat op het scherm $\frac{9,8}{3} = 3,3$ hokje.
Het gereduceerde faseverschil tussen kanaal 1 en kanaal 2 is dus: $\frac{0,8}{3,3} = 0,2$
Voor het faseverschil $\Delta\varphi = \varphi_P - \varphi_Q$ geldt: $\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$ (Binas 35B2), waarin:
Δx = opgemeten wegverschil tussen P en Q = 2,8 cm (opgemeten in figuur 1)
λ = golflengte = afstand tussen 2 verdichtingen = 2,3 cm (opgemeten in figuur 1)
zodat: $\Delta\varphi = \frac{2,8}{2,3} = 1,2 \Rightarrow \Delta\varphi_{gereduceerd} = 0,2$
De gereduceerde fase van de golf in P is dus ongeveer 0,2 groter dan van de golf in Q.
Het beeld van het signaal van de microfoon in P moet dus 0,2 in fase voorlopen.
De microfoon in P is dus aangesloten op kanaal 1.

4 We bepalen de geluidssnelheid v in dit CO_2-gas uit de frequentie f en de golflengte λ met:
$v = f \cdot \lambda$ (Binas 35B2)
Uit de tekening (= figuur 3) vinden we twee bij elkaar behorende waarden van f en λ:
Het gereduceerde faseverschil $\Delta\varphi$ is nul bij frequenties:
440 Hz (= 2 · 220 Hz) en
660 Hz (= 3 · 220 Hz).



Bij 220 Hz, 440 Hz en 660 Hz is het wegverschil tussen P en Q dus respectievelijk λ, 2 λ en 3 λ
Er geldt dus: f = 220 Hz en λ = wegverschil PQ = 1,19 m
Invullen: $v = 220 \cdot 1,19 = 2,62 \cdot 10^{2}$ m s^{-1}

©ThiemeMeulenhoff

Klarinet

5 De grondfrequentie f_0 van de laagste toon van de klarinet berekenen we met:

$f_0 = \frac{1}{T_0}$ (Binas 35B1), waarin:

T_0 = trillingstijd van de grondtoon

In figuur 2 lezen we af: $7 \cdot T_0 = (0{,}0482 - 0{,}0002)$ s = 0,0480 s $\Rightarrow$

$\Rightarrow T_0 = \frac{0{,}0480}{7} = 6{,}86 \cdot 10^{-3}$ s

Invullen: $f_0 = \frac{1}{6{,}86 \cdot 10^{-3}} = 146$ Hz

6 Uit de figuren 2 en 3 lezen we af, dat de eerste boventoon ongeveer 21 trillingen maakt in dezelfde tijdsduur dat de grondtoon 7 trillingen voortbrengt.
De trillingstijd T_1 van de eerste boventoon is dus 3 maal zo klein als de trillingstijd T_0 van de grondtoon. De frequentie $f_1 = \frac{1}{T_1}$ (Binas 35B1) van de eerste boventoon is dus 3 maal zo groot als de frequentie van de grondtoon. Hieruit volgt dat de kant van het riet opgevat moet worden als een gesloten uiteinde.
Bij een pijp met één gesloten en één open uiteinde geldt: $f_1 = 3 \cdot f_0$
Bij een pijp met twee open uiteinden of twee gesloten uiteinden geldt: $f_1 = 2 \cdot f_0$

7 Om een uitspraak te kunnen doen of een temperatuurverschil de oorzaak van het frequentieverschil kan zijn, berekenen we eerst wat de geluidssnelheid v_T op de andere meetdag moet zijn geweest met: $v_T = \lambda \cdot f_T$ (Binas 35B2), waarin:
λ = golflengte van de eerste boventoon; er geldt:

$v_{20} = \lambda \cdot f_{20} \Rightarrow \lambda = \frac{v_{20}}{f_{20}}$ (Binas 35B2), met:

v_{20} = geluidssnelheid bij 20 °C = $0{,}343 \cdot 10^3$ m s^{-1} (Binas 15A)

f_{20} = frequentie van de eerste boventoon bij 20 °C

$f_{20} = \frac{1}{T_{20}}$ (Binas 35B1), met:

T_{20} = trillingstijd van de eerste boventoon bij 20 °C

aflezen in figuur 3 geeft: $22 \cdot T_{20} = 0{,}050$ s $\Rightarrow T_{20} = \frac{0{,}050}{22}$ s

zodat: $f_{20} = \frac{1}{\frac{0{,}050}{22}} = 440$ Hz

dus: $\lambda = \frac{0{,}343 \cdot 10^3}{440} = 0{,}780$ m

f_T = frequentie van de eerste boventoon op de andere meetdag =
= $f_{20} - 3 = 440 - 3 = 437$ Hz

Invullen: $v_T = 0{,}780 \cdot 437 = 341$ m s^{-1}

Binas 15A laat zien dat een temperatuurverschil van een paar graden Kelvin een verschil van een paar m s^{-1} in de geluidssnelheid zal veroorzaken.
Het gemeten verschil van 3 Hz zou dus heel goed veroorzaakt kunnen zijn door een temperatuurverschil tussen de beide dagen.

Ukelele-I

8 Voor de golfsnelheid v van een snaar geldt: $v = \lambda \cdot f$ (Binas 35B2), waarin
λ = golflengte van de trilling en f = frequentie van de trilling.
In figuur 1 zien we dat de vier snaren even lang zijn, dus de golflengten van de vier snaren zijn gelijk (voor de grondtonen geldt: lengte snaar = $\frac{1}{2} \cdot \lambda_0$).
In tabel 1 lezen we af dat de frequenties van de vier tonen verschillend zijn, dus kunnen volgens $v = \lambda \cdot f$ de golfsnelheden in de vier snaren niet gelijk aan elkaar zijn.

9 De snaren hebben vaste uiteinden. De uiteinden zijn voor de golven dus knopen.
Voor de verhouding van de frequenties van de boventonen ten opzichte van de grondtoon geldt dan:
$f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : \ldots = 1 : 2 : 3 : 4 : \ldots$
Voor snaar 3 geldt: $f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : \ldots = 330 : 660 : 990 : \mathit{1320} : \ldots$
Voor snaar 4 geldt: $f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : \ldots = 440 : 880 : \mathit{1320} : 1760 : \ldots$
De laagste gemeenschappelijke boventoon van snaar 3 en snaar 4 heeft dus een frequentie van 1320 Hz.

10 Er geldt: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow v^2 = \frac{F}{\mu} \Rightarrow F = v^2 \cdot \mu = v^2 \cdot \frac{m}{\ell}$, waarin:

v = golfsnelheid = $\lambda \cdot f$ (Binas 35B2)
F = spankracht
μ = massa per lengte-eenheid
m = massa = $\rho \cdot V$ (Binas 35C1), met:
  ρ = dichtheid
  V = volume = $A \cdot \ell = \pi \cdot r^2 \cdot \ell$ (Binas 36B) = $\pi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot d\right)^2 \cdot \ell = \pi \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot \ell$, met:
    A = doorsnede van de snaar
    r = straal van de doorsnede
    ℓ = lengte van de snaar
    d = diameter van de doorsnede
ℓ = lengte van de snaar

Invullen:

$$F = v^2 \cdot \frac{m}{\ell} = \frac{v^2 \cdot \rho \cdot V}{\ell} = \frac{(\lambda \cdot f)^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot \ell}{\ell} = \frac{\lambda^2 \cdot f^2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4}$$

11 Voor de spankracht F geldt: $F = \frac{\lambda^2 \cdot f^2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4}$, waarin:

λ = golflengte van de grondtoon = $2 \cdot \ell$, met:
  ℓ = lengte van de snaar = 35,0 cm = 0,350 m
  zodat: $\lambda = 2 \cdot 0{,}350 = 0{,}700$ m
f = frequentie van de grondtoon van snaar 1 = 392 Hz (afgelezen in tabel 1)
d = dikte van de snaar = 0,65 mm = $0{,}65 \cdot 10^{-3}$ m
ρ = dichtheid van nylon = $1{,}14 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 10A)

Invullen: $F = \frac{0{,}700^2 \cdot 392^2 \cdot \pi \cdot \left(0{,}65 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 1{,}14 \cdot 10^3}{4} = 28$ N

12 In de formule van de spankrachten $F = \dfrac{\lambda^2 \cdot f^2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4}$ voor de E-snaar van de gitaar en de ukelele is er alleen een verschil in de golflengte λ. De andere grootheden zijn allemaal even groot $\Rightarrow$

$$\frac{F_{gitaar}}{F_{ukelele}} = \frac{\text{constante} \cdot \lambda^2_{gitaar}}{\text{constante} \cdot \lambda^2_{ukelele}} = \frac{\lambda^2_{gitaar}}{\lambda^2_{ukelele}} = \frac{(2 \cdot \ell_{gitaar})^2}{(2 \cdot \ell_{ukelele})^2} = \frac{(\ell_{gitaar})^2}{(\ell_{ukelele})^2}$$, waarin:

ℓ_{gitaar} = lengte van de gitaarsnaar = 64,5 cm
$\ell_{ukelele}$ = lengte van de ukelelesnaar = 35,0 cm

Invullen: $\dfrac{F_{gitaar}}{F_{ukelele}} = \dfrac{64{,}5^2}{35{,}0^2} = 3{,}40$

Getijdenresonantie

13 Zie tekening 1.

methode 1
We bepalen de maximale stijgsnelheid v_{max} van het water door een raaklijn te tekenen aan het steilste deel van de grafiek tijdens het stijgen van het water. (zie punt A in tekening 1).
Dan geldt:

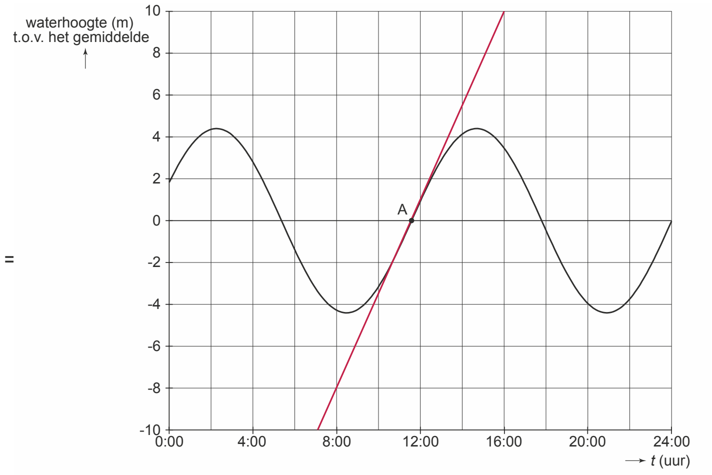
v_{max} = helling van de raaklijn =

$= \dfrac{\Delta u}{\Delta t} = \dfrac{10{,}0 - (-10{,}0)}{16{,}0 - 7{,}0} =$

$= \dfrac{20{,}0}{9{,}0} = 2{,}22 \text{ m h}^{-1} =$

$= \dfrac{2{,}22 \cdot 10^2 \text{ cm}}{60 \text{ min}} =$

$= 3{,}7 \text{ cm min}^{-1}$



tekening 1

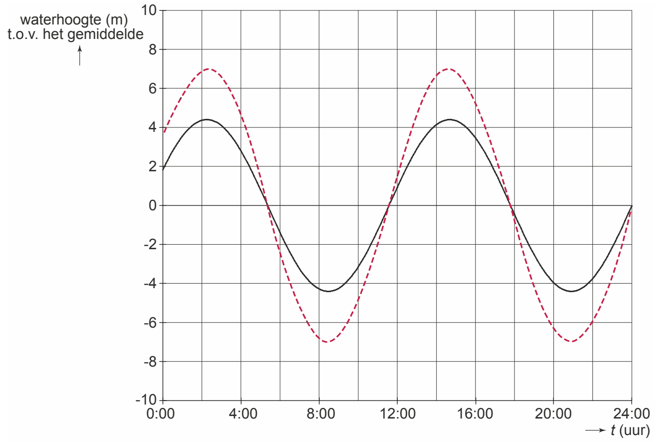
methode 2
De maximale stijgsnelheid v_{max} vinden we ook uit:

$v_{max} = \dfrac{2\pi \cdot A}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

A = amplitude van de getijdenbeweging = 4,4 m (afgelezen in tekening 1)
T = trillingstijd van de getijdenbeweging = (24,0 – 11,6) uur = 12,4 uur (afgelezen in tekening 1)

Invullen: $v_{max} = \dfrac{2\pi \cdot 4{,}4}{12{,}4} \text{ m h}^{-1} = 2{,}23 \text{ m h}^{-1} = \dfrac{2{,}23 \cdot 10^2 \text{ cm}}{60 \text{ min}} = 3{,}7 \text{ cm min}^{-1}$

14 Zie tekening 2.
Door interferentie van heen en weer gaande golven ontstaat er in de baai een staande golf, met een buik B bij Cumberland County.
De grafiek van de waterhoogte bij Cumberland County als functie van de tijd gaat op dezelfde tijden door nul als de gegeven grafiek, heeft de toppen op dezelfde tijdstippen als de gegeven grafiek en heeft een grotere amplitude dan de gegeven grafiek.



tekening 2

15 De staande golf in de baai heeft een knoop K aan het begin van de baai en een buik B aan het eind van de baai bij Cumberland County. De lengte van de baai is dus gelijk aan een knoop-buik afstand van de staande golf; deze lengte komt overeen met een kwart golflengte.
De golflengte van de staande golf is dus gelijk aan 4 maal de baailengte.

16 We berekenen de waarde van de gebruikte golfsnelheid v met:

$\lambda = v \cdot T \Rightarrow v = \dfrac{\lambda}{T}$ (Binas 35B2), waarin:

λ = golflengte van de baai in het computermodel = 4 · lengte van de baai = 4 · 300 km = $1{,}20 \cdot 10^6$ m (afgelezen in figuur 3)
T = trillingstijd van de staande golf in de baai = (24,0 – 11,6) uur = 12,4 uur = = 12,4 · 60 · 60 s = $4{,}46 \cdot 10^4$ s (afgelezen in de uitwerkbijlage)

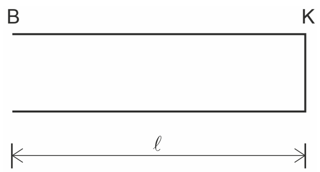
Invullen: $v = \dfrac{1{,}20 \cdot 10^6}{4{,}46 \cdot 10^4} = 26{,}9 \text{ m s}^{-1}$

17 Er doet zich versterking (resonantie) voor bij een baailengte L = 300 km.
De knoop-buikafstand is dan dus 300 km: $\frac{1}{4} \cdot \lambda = 300$ km.
Voor een systeem dat aan één kant gesloten is doet zich een tweede resonantie (KBKB) voor bij een lengte $L = \frac{3}{4} \cdot \lambda = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \lambda = 3 \cdot 300 \text{ km} = 900$ km.

18 Voor de resonantielengte L geldt: $L = \frac{1}{4} \cdot \lambda = \frac{1}{4} \cdot v \cdot T$ (Binas 35B2).
Als de zeespiegel zou stijgen, wordt de voortplantingssnelheid v in de baai groter, terwijl de trillingstijd T niet verandert. Dan wordt L dus groter, waardoor het eerste maximum in figuur 3 naar rechts verschuift en dus dichter in de buurt zal komen van de werkelijke lengte van 325 km van de baai. De versterkingsfactor in de baai zal daardoor toenemen, waardoor het verschil in getijden groter wordt. De bewoners maken zich dus terecht ongerust.

Oor

19 Zie de tekening.



Als er resonantie optreedt, is de lengte ℓ van de gehoorgang gelijk aan een kwart golflengte van het geluid, met een buik B bij de opening en een knoop K bij het trommelvlies $\Rightarrow \ell = \frac{1}{4}\lambda \Rightarrow \lambda = 4 \cdot \ell$

Dan geldt voor de resonantiefrequentie f_{res} van het geluid:

$v = f_{res} \cdot \lambda$ (Binas 35B2) $\Rightarrow f_{res} = \frac{v}{\lambda}$, waarin:

v = snelheid van het geluid = $0{,}343 \cdot 10^3$ m s^{-1} (Binas 15A, bij T = 293 K)

λ = golflengte van het geluid = $4 \cdot \ell$, met: $\ell = 28$ mm = $28 \cdot 10^{-3}$ m,
zodat: $\lambda = 4 \cdot 28 \cdot 10^{-3}$ m = 0,112 m

Invullen: $f_{res} = \frac{0{,}343 \cdot 10^3}{0{,}112} = 3{,}1 \cdot 10^3$ Hz = 3,1 kHz

Het klopt dus.

20 Bij een baby is de gehoorgang korter $\Rightarrow \ell$ is kleiner.
Daardoor is de golflengte λ waarbij resonantie optreedt kleiner ($\ell = \frac{1}{4} \cdot \lambda$).
Volgens $f = \frac{v}{\lambda}$ (Binas 35B2) zal de resonantiefrequentie dan hoger zijn.

21 We bepalen de massa m op die plaats van het basilaire membraan met:

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van de eigenfrequentie f op deze plaats = $\frac{1}{f}$ (Binas 35B1), met:
$f = 3{,}0$ kHz = $3{,}0 \cdot 10^3$ Hz

zodat: $T = \frac{1}{3{,}0 \cdot 10^3} = 3{,}33 \cdot 10^{-4}$ s

C = stijfheid ('veerconstante') = 500 N m^{-1}, afgelezen in figuur 4 bij
$x = 5{,}0$ mm = 0,0050 m

Invullen: $3{,}33 \cdot 10^{-4} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{500}} \Rightarrow m = 500 \cdot \frac{(3{,}33 \cdot 10^{-4})^2}{4 \cdot \pi^2} = 1{,}4 \cdot 10^{-6}$ kg

22 Er geldt: $T = \frac{1}{f} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ (Binas 35B1) $\Rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C}{m}}$

Als de afstand x 2x zo groot wordt, wordt volgens figuur 4 de stijfheid C ongeveer 2x zo klein. In figuur 2 lezen we af, dat als de afstand x 2x zo groot wordt, de frequentie f ongeveer 4x zo klein wordt.

Als f 4x zo klein wordt, zal $\sqrt{\frac{C}{m}}$ ook 4x zo klein worden $\Rightarrow \frac{C}{m}$ wordt 4^2 = 16x zo klein.

De stijfheid C wordt ongeveer 2x zo klein, dus de massa m wordt groter.

$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C}{m}}$ *(zie boven)* $\Rightarrow f^2 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2} \cdot \frac{C}{m} \Rightarrow m = \frac{C}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2}$

Bij een 2x zo grote afstand x geldt voor de massa m':

$m' = \frac{\frac{1}{2} \cdot C}{4 \cdot \pi^2 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot f\right)^2} = \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot \frac{C}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2} = 8 \cdot m$

De massa is dus 8x zo groot op die plaats.

3 Medische beeldvorming (domein B2)

Radondochters

Radon is een radioactief edelgas dat uit de bodem en uit bouwmaterialen kan ontsnappen en terecht kan komen in kelders en kruipruimtes die slecht geventileerd worden.

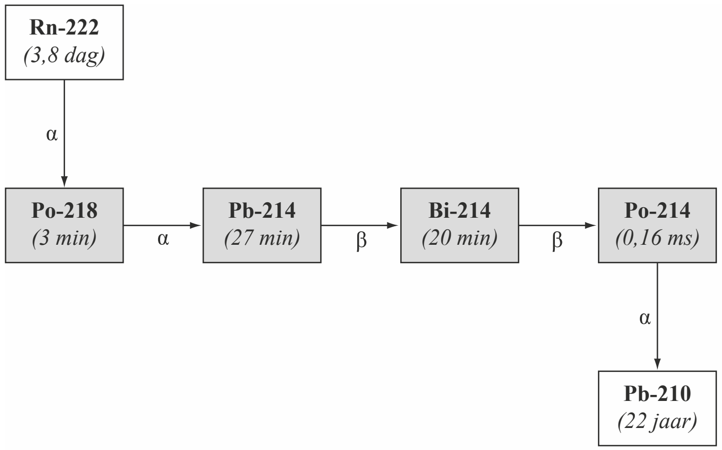
De meest voorkomende isotoop van radon is radon-222. Radioactieve isotopen met atoomnummers tussen 82 en 90 komen in de natuur voor omdat ze voortdurend aangemaakt worden. Er bestaan in de natuur twee zogenoemde 'radioactieve reeksen'. De ene reeks begint bij thorium-232, de andere bij uraan-238.

1 Beredeneer of radon-222 ontstaat uit thorium-232 of uit uraan-238.
Beschouw daartoe het aantal nucleonen van de kernen.
Hint: het is niet nodig om de vervalvergelijkingen op te schrijven.

In figuur 1 zijn het verval van radon-222 en de daarop volgende vervalstappen weergegeven. Bij elke isotoop is de halfwaardetijd gegeven.

NB: uit de gegevens in Binas zou ook een alternatieve vervalroute kunnen worden afgeleid. Deze komt echter zo weinig voor, dat we hem in deze opgave verwaarlozen.

figuur 1



De vier grijze isotopen worden 'radondochters' genoemd. Zij hebben een betrekkelijk kleine halveringstijd: als een radon-222 kern vervalt, vervallen vrij snel daarna ook de radondochters. De radondochters hechten zich aan microscopische stofdeeltjes en blijven in de lucht zweven. De lucht in een gesloten kelderruimte bevat dus radon en radondochters.
Ook als er per seconde steeds dezelfde hoeveelheid radon ontsnapt, gaat het ophopen van radon in een gesloten kelderruimte niet eindeloos door. Als er niet geventileerd wordt, bereikt de activiteit (in Becquerel) van het radon een bepaalde constante waarde.

2 Leg uit:
- waarom in dat geval de activiteit van radon-222 uiteindelijk constant wordt;
- dat elk van de radondochters dan dezelfde activiteit heeft als radon-222.

Een persoon die een tijdje in zo'n kelderruimte verblijft, ademt lucht in met de daarin aanwezige isotopen. Stel dat een persoon tijdens zijn verblijf in de kelderruimte 1 m^3 lucht inademt. De persoon ademt het radon weer uit omdat het een edelgas is.
De microscopische stofdeeltjes met de radondochters blijven achter in de longen.
Bij het verval hiervan worden de longen (totale massa van 2,5 kg) bestraald.

In tabel 1 staat het aantal kernen in 1 m^3 lucht van elk van de radondochters in de kelderruimte.

tabel 1

Aantal kernen (in 1 m^3 lucht) in de kelderruimte	
Po-218	$2{,}6\cdot 10^4$
Pb-214	$2{,}3\cdot 10^5$
Bi-214	$1{,}7\cdot 10^5$
Po-214	≈ 0

Voor de stralingsdosis *D* geldt:

$$D = \frac{E_{str}}{m}$$

Hierin is:
- E_{str} de stralingsenergie, die geabsorbeerd wordt;
- *m* de massa van het bestraalde orgaan.

3 Bereken de stralingsdosis die de longen ontvangen ten gevolge van alfa-straling.

Radiumverf

Radium werd in 1898 door de Poolse scheikundige Marie Curie ontdekt.
Dit element zendt licht uit en werd in het begin van de twintigste eeuw gebruikt om oplichtende verf voor wijzers van horloges te maken.

In deze verf zit radium-226 dat α-straling uitzendt.
4 Geef de vervalreactie van radium-226.

De radiumbevattende verf werd door jonge meisjes met een penseel op de wijzers van een horloge gebracht. Met de mond werden de haartjes van het penseel tot een puntje gezogen. Daarbij kwam iedere keer een hele kleine hoeveelheid radiumverf via het speeksel in de maag terecht.
Neem aan dat daardoor in een bepaalde periode gemiddeld 1,0 μg radium-226 de maag met een massa van 2,5 kg bestraalde.
De activiteit van één gram radium is $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq.
De toegestane equivalente dosis voor de maag bedraagt 0,2 mSv per jaar.

Voor de equivalente dosis (dosisequivalent) *H* geldt:

$$H = Q\frac{E}{m}$$

Hierin is:
- *Q* de (stralings)weegfactor (kwaliteitsfactor) die voor α-straling gelijk is aan 20;
- *E* de geabsorbeerde stralingsenergie in J;
- *m* de bestraalde massa in kg.

5 Doe een beredeneerde uitspraak over het gevaar van de α-straling van radium-226 in deze verf voor de gezondheid van de jonge meisjes.
Bereken daartoe eerst de equivalente dosis die de maag door de α-straling van 1,0 μg radium-226 in 1,0 uur ontvangt.

Radium-226 en zijn vervalproducten zenden α-, β,- en γ-straling uit.
De horloges, voorzien van wijzers met lichtgevende radiumverf, werden door hun bezitters soms jarenlang gedragen.
6 Leg voor elke soort straling uit of die van invloed is op de gezondheid van de bezitter van zo'n horloge.

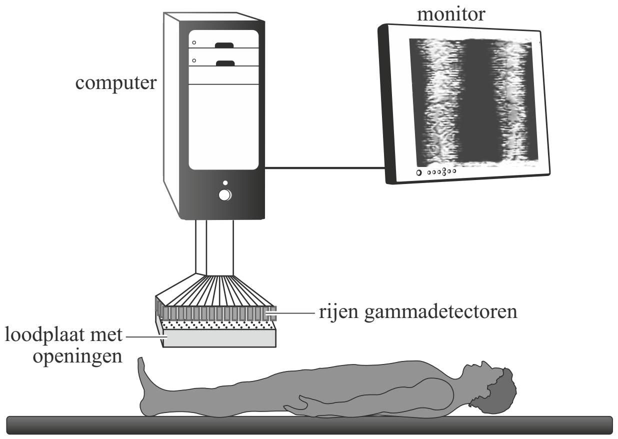
Onderzoek van bot met calcium-47

In deze opgave bekijken we een patiënt waarbij de botten in de benen worden onderzocht. Hierbij gebruikt men calcium omdat dit gemakkelijk door het lichaam opgenomen en getransporteerd wordt naar de botten.
De patiënt krijgt een hoeveelheid van de instabiele isotoop calcium-47 toegediend, die bij verval een bèta-min-deeltje en gammastraling uitzendt: $^{47}Ca \rightarrow {}^{47}Sc + \beta^- + \gamma$.
De gammastraling kan buiten het lichaam gedetecteerd worden. De arts kan zo zien of er met de botten iets bijzonders aan de hand is.

Bij het begin van het onderzoek krijgt de patiënt een hoeveelheid calcium-47 toegediend met een activiteit van 2,5 MBq.
7 Bereken de massa in kg van het calcium-47.

De benen van de patiënt worden onder een apparaat gelegd dat gammastraling meet. Zie figuur 1.

figuur 1



In het apparaat zijn honderden gammadetectoren in rijen naast elkaar geplaatst.
Onder de gammadetectoren bevindt zich een dikke loden plaat.
Onder elke gammadetector zit in de plaat een smal gat.

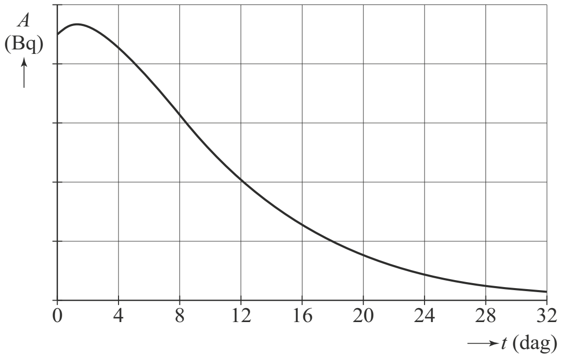
Elke gammadetector registreert alleen de straling die uit het deel van het been **recht onder** de detector komt.
8 Waarom is het gewenst dat die alleen van recht onder komt?

Voor het maken van het beeld van het bot worden de gegevens door de computer verwerkt.
Voor verschillende delen van de benen verschilt de absorptie van gammastraling in het spierweefsel en in de lucht tussen de detector en het been.
Om de metingen van het been te kunnen vergelijken, moet voor die absorptie gecorrigeerd worden. Daarvoor vermenigvuldigt de computer de meetwaarde van elke detector met een correctiefactor.
Als er geen absorptie optreedt, levert dat een correctiefactor 1.
Neem aan dat zich tussen een gammadetector en het bot 10 cm lucht en 4,5 cm spierweefsel bevindt. De absorptie in spierweefsel is gelijk aan die in water.
Ga uit van een gamma-foton met een energie van 1,0 MeV.

9 Bereken de grootte van de correctiefactor voor die detector.

Een nadeel van deze onderzoeksmethode is de stralingsbelasting van het bot.
Deze ontstaat voornamelijk door absorptie van bèta-min-deeltjes.
Deze zijn niet alleen afkomstig van calcium-47 maar ook van scandium-47 (dat ontstaat bij het verval van calcium-47).
Figuur 2 toont het verloop van de gezamenlijke activiteit van beide isotopen in het bot van het bovenbeen.

figuur 2



10 Beredeneer aan de hand van het verloop van figuur 2 of de halveringstijd van scandium-47 groter of kleiner is dan de halveringstijd van calcium-47.

De nucleaire diagnostiek zoals die hierboven beschreven is, laat plaatsen van het bot zien waar iets bijzonders aan de hand is. Die informatie kan niet worden verkregen met behulp van **echoscopie** of een **MRI-scan**.

11 Beargumenteer dit voor deze beide technieken.

©ThiemeMeulenhoff

Onderzoek naar metaalmoeheid

Lees onderstaand artikel.

Vleugels van vliegtuigen trillen tijdens het vliegen ten gevolge van de grote krachten die ze ondervinden. Daardoor kan het metaal zijn sterkte verliezen en de vleugel kan afbreken.
We spreken dan van metaalmoeheid. Wetenschappers onderzoeken de oorzaak van metaalmoeheid. Hun kennis wordt toegepast om veilige constructies te maken.

In het reactorinstituut van de TU-Delft doet men onderzoek naar metaalmoeheid. Men beschiet het metaal met positronen. Een positron is een deeltje met massa gelijk aan die van een elektron, maar met een positieve lading. Als positronenbron gebruikt men Na-22.

12 Geef de vervalvergelijking van Na-22.

Bij aanschaf had de Na-22 bron een activiteit 1,1 MBq. Op een bepaald moment is de activiteit van de bron gedaald naar 0,17 MBq en is deze niet meer bruikbaar voor het experiment.

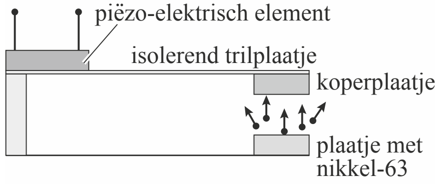
13 Berekenen na hoeveel tijd dat is.

Nucleaire batterijen

Nucleaire batterijen zijn spanningsbronnen die β^--straling gebruiken om elektrische energie op te wekken. Door hun zeer kleine afmetingen zijn ze bijzonder geschikt voor microprocessoren in computers en in pacemakers.
De β^--straling komt uit een radioactieve bron die bestaat uit een plaatje met nikkel-63.

Het principe van een nucleaire batterij wordt toegelicht met behulp van figuur 1.

figuur 1



Een aantal β^--deeltjes uit het plaatje met nikkel-63 treft een koperplaatje en wordt daar geabsorbeerd. Het koperplaatje is bevestigd aan een isolerend trilplaatje dat goed kan buigen. Aan het isolerend trilplaatje is ook een piëzo-elektrisch element bevestigd. Dit element geeft bij vervorming een elektrische spanning af.
Het trilplaatje gaat trillen.

©ThiemeMeulenhoff

Voor de activiteit geldt de volgende formule:

$$A(t) = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} N(t)$$

Hierin is:
- A de activiteit;
- N het aantal aanwezige radioactieve kernen;
- $t_{\frac{1}{2}}$ de halveringstijd.

De activiteit van het nikkel-63 in het plaatje is op een gegeven moment $5{,}0 \cdot 10^{10}$ Bq. De massa van een nikkel-63-atoom is $1{,}04 \cdot 10^{-25}$ kg.

14 Bereken de massa van het nikkel-63 in het plaatje, uitgedrukt in kg.

Bij het verval van een nikkel-63-kern komt per vervalreactie 62 keV aan (kern)energie vrij. Het rendement van de omzetting van (kern)energie naar elektrische energie is bij dit proces 4,0%.

15 Bereken het elektrisch vermogen van de batterij op dat moment.

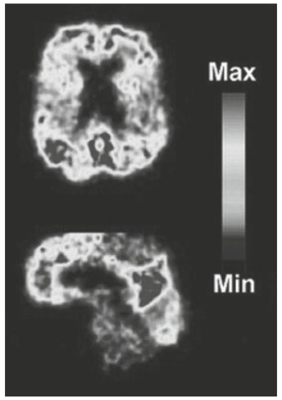
Een nucleaire batterij is toegepast in een pacemaker. Zolang het vermogen van de nucleaire batterij meer dan 90% is van het vermogen bij de productie, kan hij worden gebruikt. Het rendement blijft bij het teruglopen van het vermogen gelijk.

16 Bereken hoe lang na de productie de nucleaire batterij vervangen moet worden.

PET-scan

Bij onderzoek naar de ziekte van Alzheimer wordt de PET-scan gebruikt. Daarbij spuit men bij de patiënt een speciale stof in die het C-11-isotoop bevat. Deze stof bindt het C-11-isotoop aan plaatsen in de hersenen waar de oorzaak van de ziekte van Alzheimer zit. Figuur 1 toont een voorbeeld van zo'n PET-scan.

figuur 1

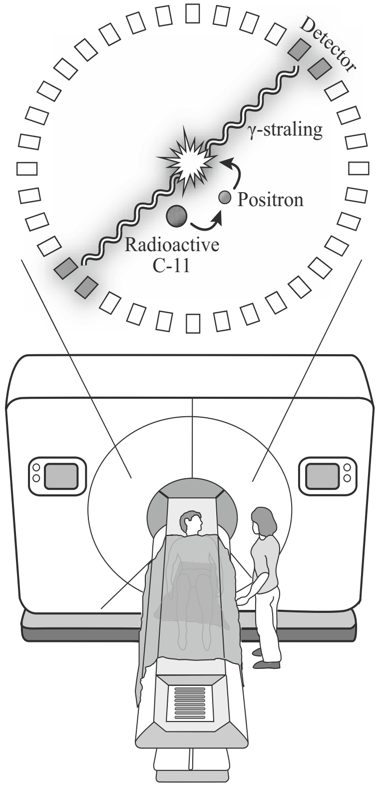


Het C-11-isotoop verkrijgt men door versnelde protonen op N-14 te schieten.

17 Geef de kernreactievergelijking van de productie van het C-11-isotoop uit N-14.

Het C-11-isotoop vervalt onder uitzending van een positron. Het positron dat ontstaat remt in het hersenweefsel af tot (bijna) stilstand, en annihileert dan met een elektron. Daarbij worden twee gamma-fotonen met dezelfde frequentie in tegengestelde richting uitgezonden. Zie figuur 2.

figuur 2

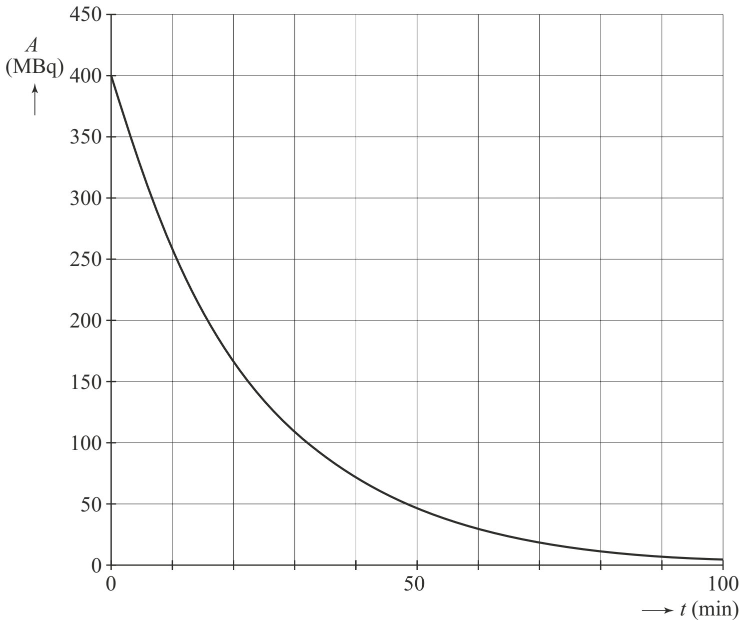


Als twee gamma-fotonen binnen een tijdsduur Δt de ringvormige detector bereiken, neemt men aan dat ze afkomstig zijn van dezelfde annihilatie. Een computer verwerkt de gegevens tot een plaatje zoals in figuur 1.

18 Bereken de orde van grootte van de tijdsduur Δt. Maak daarbij gebruik van een schatting en neem aan dat de fotonen overal bewegen met de lichtsnelheid in vacuüm.

De stralingsbelasting bij een PET-scan voor de patiënt is het gevolg van het afremmen van de positronen. De stralingsbelasting ten gevolge van de gammastraling is te verwaarlozen. In figuur 3 staat de grootte van de activiteit van de ingespoten stof in de hersenen uit tegen de tijd.

figuur 3



De massa van de hersenen is 1,5 kg. De gemiddelde energie die een positron door het afremmen aan het hersenweefsel afgeeft, bedraagt 0,4 MeV.

19 Bepaal de stralingsdosis die de hersenen ontvangen.

Voor het vaststellen van de ziekte van Alzheimer zijn een röntgenfoto of echografie niet geschikt.

20 Geef hiervoor, voor beide genoemde technieken, een reden. Gebruik de informatie in Binas tabel 29.

Hints bij hoofdstuk 3

1 Wat gebeurt er met het aantal nucleonen bij α-verval en wat bij β-verval?
2 De activiteit hangt af van de hoeveelheid radioactieve kernen.
3 Uiteindelijk wordt alles polonium-214.
4 Wat moet links en rechts van → gelijk zijn?
5 Hoeveel bedraagt de energie van een uitgezonden α-deeltje?
6 Welke straling wordt door het horloge tegengehouden?
7 Zie Binas 35E3 voor het verband tussen de activiteit *A* en het aantal atomen *N*.
8 Waarom wil men alleen verticaal gerichte straling meten?
9 Zie Binas 35E3 voor de hoeveelheid doorgelaten straling in relatie tot de dikte.
10 Let op het merkwaardige begin van de vervalcurve.
11 Wat voor soort weefsel is geschikt voor echoscopie en voor de MRI-scan?
12 Wat moet links en rechts van de → gelijk zijn?
13 Zie Binas 35E3.
14 Zoek de halveringstijd van nikkel-63 op.
15 Bereken eerst hoeveel kernenergie er per seconde vrijkomt.
16 Voor de formule van radioactief verval: zie Binas tabel 35E3.
17 Staat het proton vóór of na de pijl?
18 Maak een schatting van de diameter van een mensenhoofd.
19 Waar is de oppervlakte onder de grafiek van figuur 3 aan gelijk?
20 Wat zijn de registratieprincipes bij röntgenfoto's en echografie?

Uitwerkingen bij hoofdstuk 3

Radondochters

1 Twee kernen die tot dezelfde reeks behoren moeten een geheel aantal α-deeltjes verschillen. Bij een α-verval verdwijnen er uit de kern 2 protonen en 2 neutronen, dus in totaal 4 nucleonen. Het verschil moet dus altijd een veelvoud van 4 zijn.
Dat geldt voor uraan-238 en radon-222: het verschil is 16 nucleonen.
Dat geldt niet voor thorium-232 en radon-222: het verschil is 10 nucleonen.
Bij een β-verval blijft het aantal nucleonen gelijk.

2 Omdat er een constante aanvoer is, zal er na enige tijd evenveel radon-222 vervallen als de hoeveelheid die erbij komt. Grotere concentratie betekent ook meer activiteit en dus ontstaat er een evenwicht. Voor een constante hoeveelheid radon-222 die per seconde vervalt zal er op identieke wijze ook voor elk van de dochters een evenwicht in de concentratie ontstaan. Per tijdseenheid zullen er dus na enige tijd evenveel radondochters vervallen als dat er gevormd worden.
Dus dan hebben de radondochters dezelfde activiteit als radon-222.

3 We berekenen de stralingsdosis D die de longen ontvangen uit: $D = \frac{E_{str}}{m}$, waarin:
E_{str} = stralingsenergie die geabsorbeerd wordt
E_{str} is de energie die het verval van de twee isotopen met α-verval leveren, dus:
$E_{str} = n_{Po\text{-}218} \cdot E_{Po\text{-}218} + n_{Po\text{-}214} \cdot E_{Po\text{-}214}$, waarin:
$n_{Po\text{-}218}$ = aantal polonium-218 kernen per m^3 lucht = $2{,}6 \cdot 10^4$
$E_{Po\text{-}218}$ = vervalenergie van polonium-218 = 5,998 MeV (Binas 25A)
$n_{Po\text{-}214}$ = uiteindelijk aantal polonium-214 kernen per m^3 lucht.
Alle radondochters vervallen uiteindelijk tot polonium-214,
zodat: $n_{Po\text{-}214} = 2{,}6 \cdot 10^4 + 2{,}3 \cdot 10^5 + 1{,}7 \cdot 10^5 = 4{,}26 \cdot 10^5$
$E_{Po\text{-}214}$ = vervalenergie van polonium-214 = 7,68 MeV (Binas 25A)
zodat: $E_{str} = 2{,}6 \cdot 10^4 \cdot 5{,}998 + 4{,}26 \cdot 10^5 \cdot 7{,}68$ MeV $= 3{,}43 \cdot 10^6$ MeV
$= 3{,}43 \cdot 10^6 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J $= 5{,}49 \cdot 10^{-7}$ J (Binas 5)
m = massa van de longen = 2,5 kg
Invullen: $D = \frac{5{,}49 \cdot 10^{-7}}{2{,}5} = 2{,}2 \cdot 10^{-7}$ J kg^{-1} (Gy)

Radiumverf

4 $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He\ (+\ \gamma)$
- *Het atoomnummer van radium (Ra) is 88 (Binas 40A, 25A of 99).*
- *Een α-deeltje is een heliumkern, aangegeven met $^4_2$He (Binas 25A)*
- *de som van de atoomnummers moet links en rechts van de pijl gelijk zijn ⇒ het atoomnummer van het element dat ontstaat is 88 – 2 = 86; dit is het element radon (Rn) (Binas 40A, 25A of 99)*
- de som van de massagetallen moet links en rechts van de pijl gelijk zijn ⇒ het massagetal van de radonkern is 226 – 4 = 222

5 Voor de ontvangen dosis H die de maag in 1,0 uur ontvangt, geldt:
$H = Q \cdot \frac{E}{m}$, waarin:
Q = stralingsweegfactor = 20
E = stralingsenergie die de maag in 1,0 uur absorbeert
Er geldt: $E = A \cdot t \cdot m_{Ra} \cdot E_\alpha$, met:
A = activiteit van één gram radium = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq
t = 1,0 uur = 3600 s
m_{Ra} = gemiddelde hoeveelheid radium die de maag bestraalt = 1,0 μg = $= 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ g
E_α = energie van het uitgezonden α-deeltje = 4,79 MeV (Binas 25A) = $= 4{,}79 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J (Binas 5)
zodat: $E = 3{,}7 \cdot 10^{10} \cdot 3600 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 4{,}79 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 1{,}02 \cdot 10^{-4}$ J
m = massa van de maag = 2,5 kg
Invullen: $H = 20 \cdot \frac{1{,}02 \cdot 10^{-4}}{2{,}5} = 8{,}2 \cdot 10^{-4}$ Sv = 0,82 mSv
De toegestane equivalente dosis voor de maag bedraagt 0,2 mSv per jaar, dus de jonge meisjes ontvingen al binnen een uur de maximale dosis die ze per jaar zouden mogen ontvangen. De gezondheid van de meisjes werd dus ernstig in gevaar gebracht.

6
- α-straling (heliumkernen) is niet nadelig voor de gezondheid van de bezitter van zo'n horloge. Deze straling wordt geheel tegengehouden door de horlogekast en het horlogeglas.
- β-straling (elektronen) heeft ook geen nadelige gevolgen. Deze straling wordt (vrijwel) geheel tegengehouden door het horloge. β-straling die toch wordt doorgelaten door het horloge wordt tegengehouden door de huid van de bezitter van zo'n horloge.
- γ-straling zal wel door het horloge en door de huid het lichaam binnendringen en kan een nadelige invloed hebben op de gezondheid van de bezitter van zo'n horloge.

Onderzoek van bot met calcium-47

7 De massa m van het toegediende calcium-47 volgt uit: $m = N \cdot m_{Ca}$, waarin:
N = toegediende aantal calcium-47 atomen
Er geldt: $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$ (Binas 35E3) ⇒ $N = \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} \cdot A$, met:
$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd van calcium-47 = 4,54 d (Binas 25A) = $= 4{,}54 \cdot 86400$ s (Binas 5) $= 3{,}923 \cdot 10^5$ s
A = activiteit van het calcium-47 tijdens het toedienen = 2,5 MBq = $2{,}5 \cdot 10^6$ Bq
zodat: $N = \frac{3{,}923 \cdot 10^5}{\ln 2} \cdot 2{,}5 \cdot 10^6 = 1{,}415 \cdot 10^{12}$
m_{Ca} = massa van één calcium-47 atoom =
= 46,955 · u (Binas 25A; u = atomaire massa-eenheid) =
$= 46{,}955 \cdot 1{,}6605 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B) $= 7{,}797 \cdot 10^{-26}$ kg
Invullen: $m = 1{,}415 \cdot 10^{12} \cdot 7{,}797 \cdot 10^{-26} = 1{,}1 \cdot 10^{-13}$ kg

8 Men wil niet dat scheef invallende straling het beeld dat de detectoren maken stoort. Door deze opstelling meet men alleen de gammastraling die verticaal uit de loodgaatjes komt. Dan correspondeert de positie van elke gammadetector met de straling van een klein stukje bot dat er recht onder ligt.

9 Het gedeelte van de intensiteit dat wordt doorgelaten $\frac{I}{I_0}$ volgt uit:

$I = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}}$ (Binas 35E3) $\Rightarrow$ $\frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}}$, waarin:

I = intensiteit na het passeren van de tussenstof
I_0 = intensiteit aan het begin van de tussenstof
d = dikte van de tussenstof
= 4,5 cm voor het spierweefsel
= 10 cm voor de lucht
$d_{\frac{1}{2}}$ = halveringsdikte van de tussenstof
= 9,8 cm voor water en dus ook voor spierweefsel (Binas 28F)
= $9{,}1 \cdot 10^3$ cm voor lucht (Binas 28F)

zodat: $\left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{spierweefsel}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4{,}5}{9{,}8}} = 0{,}727$ en

$\left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{lucht}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{9{,}1\cdot 10^3}} = 0{,}999$

De totale $\frac{I}{I_0}$ is dus: $\left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{spierweefsel}} \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{lucht}} = 0{,}727 \cdot 0{,}999 = 0{,}726$

De correctiefactor is dus: $\frac{1}{0{,}726} = 1{,}4$

De halveringsdikte van de lucht (9,1 · 10³ m) is zeer groot, dus je mag hem ook buiten beschouwing laten.

10 Na ongeveer 3 dagen is de activiteit van de straling ongeveer even groot als tijdens het toedienen van het calcium-47. Vanaf het begin stijgt de activiteit zelfs een beetje. Dat komt doordat het scandium-47 dat ontstaan is, blijkbaar sneller vervalt dan het calcium-47. De halveringstijd van scandium-47 is dus kleiner dan die van calcium-47.

11
– Een echoscopiescan geeft informatie over hoe geluid zich gedraagt in zachte weefsels. De binnenkant van botten kunnen hiermee niet in kaart worden gebracht.
– Ook de MRI-scan geeft geen informatie over botten, maar geeft een beeld van de omgeving van waterstofatomen in zachte weefsels.

Onderzoek naar metaalmoeheid

12 $^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^{0}_{1}\text{e}^{+} + \gamma$

- *Het atoomnummer van Na (natrium) is 11 (Binas 25A, 40A of 99)*
- *Het positron wordt aangegeven met* ${}^{0}_{1}\text{e}^{+}$
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn: de kern die bij het verval ontstaat heeft dus atoomnummer 11 – 1 = 10 Volgens Binas 25A of 99 is dit het element Ne (neon)*
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn: het massagetal van het neon dat ontstaat is dus 22 – 0 = 22*
- *Volgens Binas 25A komt er bij dit verval een γ-foton vrij*

13 We berekenen deze tijd t met: $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$ (Binas 35E3), waarin:
A = activiteit op het tijdstip t = 0,17 MBq
A_0 = activiteit van de natrium-22 bron bij aanschaf = 1,1 MBq
$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd van natrium-22 = 2,6 y (Binas 25A)

Invullen: $0{,}17 = 1{,}1 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{2{,}6}} \Rightarrow \ln 0{,}17 = \ln\left(1{,}1 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{2{,}6}}\right) \Rightarrow$

$\Rightarrow \ln 0{,}17 = \ln 1{,}1 + \frac{t}{2{,}6} \cdot \ln\left(\frac{1}{2}\right) \Rightarrow -1{,}772 = 0{,}095 + \frac{t}{2{,}6} \cdot (-0{,}693) \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{t}{2{,}6} = \frac{-1{,}772 - 0{,}095}{-0{,}693} = \frac{-1{,}867}{-0{,}693} \Rightarrow t = 2{,}6 \cdot \frac{1{,}867}{0{,}693} = 7{,}0 \text{ y}$

Nucleaire batterijen

14 We berekenen de massa m van het nikkel-63 plaatje met:
$m = N(t) \cdot m_{\text{Ni-atoom}}$, waarin:
$N(t)$ = aantal aanwezige radioactieve kernen op een gegeven tijdstip t

Er geldt: $A(t) = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N(t) \Rightarrow N(t) = A(t) \cdot \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2}$, met:
$A(t)$ = activiteit op een gegeven tijdstip $t = 5{,}0 \cdot 10^{10}$ Bq
$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd van nikkel-63 = 100 y = $100 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7$ s (Binas 25A en 5)

zodat: $N(t) = 5{,}0 \cdot 10^{10} \cdot \frac{100 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7}{\ln 2} = 2{,}27 \cdot 10^{20}$

$m_{\text{Ni-atoom}}$ = massa van een nikkel-63 atoom = $1{,}04 \cdot 10^{-25}$ kg
Invullen: $m = 2{,}27 \cdot 10^{20} \cdot 1{,}04 \cdot 10^{-25} = 2{,}36 \cdot 10^{-5}$ kg

15 Voor het elektrisch vermogen P_{el} van de batterij op dat moment geldt:
$P_{\text{el}} = \frac{4{,}0}{100} \cdot P_{\text{kern}} = \frac{4{,}0}{100} \cdot A \cdot E_\beta$, waarin:
P_{kern} = totale hoeveelheid kernenergie die op dat moment per s vrijkomt
A = activiteit van het nikkel-63 op dat moment = $5{,}0 \cdot 10^{10}$ Bq
E_β = vrijgekomen kernenergie bij het verval van een nikkel-63-kern = 62 keV = $62 \cdot 10^3 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J (Binas 5)

Invullen: $P_{\text{el}} = \frac{4{,}0}{100} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{10} \cdot 62 \cdot 10^3 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 2{,}0 \cdot 10^{-5}$ W

16 We berekenen de tijd t waarna de nucleaire batterij moet worden vervangen met:

$N(t) = N(0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$ (Binas 35E3), waarin:

$N(t)$ = 90% van $N(0) = 0{,}90 \cdot N(0)$

$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd van nikkel-63 = 100 y (Binas 25A)

Invullen: $0{,}90 \cdot N(0) = N(0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{100}} \Rightarrow \ln 0{,}90 = \frac{t}{100} \cdot \ln\left(\frac{1}{2}\right) \Rightarrow t = \frac{100 \cdot \ln 0{,}90}{\ln\left(\frac{1}{2}\right)} = 15 \text{ y}$

PET-scan

17 $^{14}_{7}N + ^{1}_{1}p \rightarrow ^{11}_{6}C + ^{4}_{2}He$

- *stikstof (N) heeft atoomnummer 7* $\Rightarrow$ $^{14}_{7}N$ *(Binas 40A, 25A of 99)*
- *N-14 vangt een proton in* $\Rightarrow$ *N-14 en een proton* $^{1}_{1}p$ *staan vóór de pijl*
- *koolstof (C) heeft atoomnummer 6 (Binas 40A, 25A of 99)*
- *de som van de atoomnummers moet links en rechts van de pijl gelijk zijn* $\Rightarrow$
  $\Rightarrow$ *het atoomnummer van het element dat ontstaat is (7 + 1) – 6 = 2;*
  dat is het element helium (He) (Binas 25A of 99)
- *de som van de massagetallen moet links en rechts van de pijl gelijk zijn* $\Rightarrow$
  $\Rightarrow$ *het massagetal van de heliumkern is (14 + 1) – 11 = 4*

18 Het grootste tijdsverschil ontstaat als de gebeurtenis optreedt aan de rand van het hoofd. We berekenen de orde van grootte van de tijdsduur Δt met:

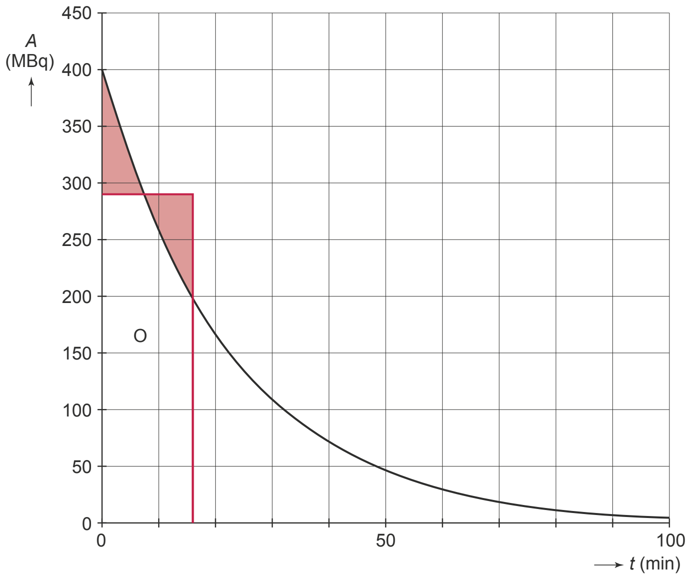
$s = v \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{s}{v}$ (Binas 35A1), waarin:

s = diameter van een mensenhoofd; we schatten deze op 20 cm = 0,2 m
v = snelheid van de fotonen = lichtsnelheid = $3{,}0 \cdot 10^8$ m s^{-1} (Binas 7A)

Invullen: $\Delta t = \frac{0{,}2}{3{,}0 \cdot 10^8} = 0{,}7 \cdot 10^{-9}$ s

De orde van grootte van de tijdsduur Δt is dus $1{,}0 \cdot 10^{-9}$ s

19 Zie de tekening.



We bepalen de stralingsdosis D met: $D = \frac{E}{m}$ (Binas 35E3), waarin:
E = totaal geabsorbeerde energie
Er geldt: $E = N \cdot E_p$, met:
N = totaal aantal vrijkomende positronen =
= de oppervlakte onder de grafiek van de tekening.
Bij de afname van de activiteit van 400 tot 200 MBq komen evenveel positronen vrij als bij de afname van 200 tot 0 MBq.
De oppervlakte onder de grafiek gedurende de eerste halveringstijd schatten we af met het oppervlakte van de rechthoek O.
Dit geeft 290 MBq $\cdot$ (16 $\cdot$ 60) s = 290 $\cdot$ 10^6 $\cdot$ 960 = $2{,}8 \cdot 10^{11}$
De totale oppervlakte onder de grafiek = 2 $\cdot$ $2{,}8 \cdot 10^{11}$ = $5{,}6 \cdot 10^{11}$ $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ $N = 5{,}6 \cdot 10^{11}$
E_p = gemiddeld geabsorbeerde energie per positron = 0,4 MeV = $0{,}4 \cdot 10^6$ eV =
= $0{,}4 \cdot 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J (Binas 5) = $6{,}4 \cdot 10^{-14}$ J
zodat: $E = 5{,}6 \cdot 10^{11} \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-14} = 3{,}58 \cdot 10^{-2}$ J
m = massa van de hersenen = 1,5 kg

Invullen: $D = \frac{3{,}58 \cdot 10^{-2}}{1{,}5} = 2 \cdot 10^{-2}$ Gy

20 – Het maken van een röntgenfoto berust op de eigenschap dat de straling door verschillende soorten weefsel meer of minder ver zal doordringen (Binas 29: registratieprincipe is verzwakking van röntgenstraling). Dit levert een beeld waarop weefsels met verschillende dichtheden zijn te onderscheiden.
Op een röntgenfoto worden geen fijne details zichtbaar, dus deze techniek is niet geschikt voor het vaststellen van de ziekte van Alzheimer.
– Met echografie kan een beeld gemaakt worden van zacht weefsel van een patiënt. Maar met echografie kan men niet door de schedel van een mens heen kijken (Binas 29: registratieprincipe is reflectie van ultrageluid), dus ook deze techniek is niet geschikt voor het vaststellen van de ziekte van Alzheimer.

©ThiemeMeulenhoff

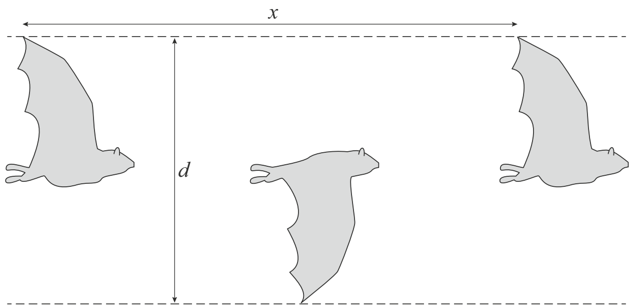
©ThiemeMeulenhoff

4 Kracht en beweging (domein C1)

Vliegen

Vogels en vleermuizen, maar ook insecten, bewegen zich voort door hun vleugels op en neer te bewegen. De **verticale** afstand tussen de uiterste standen van de vleugeltippen noemen we de slaggrootte *d*. De afstand die **horizontaal** bij een volledige op- en neergaande beweging wordt afgelegd, noemen we *x*. In figuur 1 zijn deze grootheden aangegeven.

figuur 1



De verhouding $\frac{d}{x}$ wordt het getal van Strouhal (*St*) genoemd.

Uit biomechanisch onderzoek blijkt dat voor zeer uiteenlopende vliegende dieren geldt: *St* = 0,30. Het getal van Strouhal is een voorbeeld van een dimensieloze grootheid. Een dimensieloze grootheid heeft geen eenheid.

Het getal van Strouhal kan in de praktijk berekend worden met:

$$St = \frac{f \cdot d}{v}. \qquad (1)$$

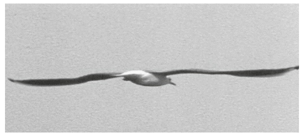
Hierin is:
- *St* het getal van Strouhal;
- *f* de slagfrequentie in Hz;
- *d* de slaggrootte in m;
- *v* de vliegsnelheid in m s^{-1}.

1 Laat zien dat uit formule (1) volgt: $St = \frac{d}{x}$.

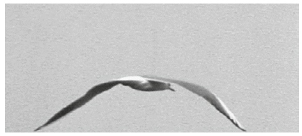
Het is mogelijk om uit enkele foto's van een vogel in de lucht zijn snelheid te bepalen. Figuren 2a, b en c zijn opnames van een zilvermeeuw met de vleugels in de hoogste stand, de evenwichtsstand en de laagste stand van één slagbeweging. De opnames hebben dezelfde schaal en zijn met een tussentijd van 40 ms gemaakt. De spanwijdte is 1,4 m.

figuur 2a

figuur 2b



figuur 2c



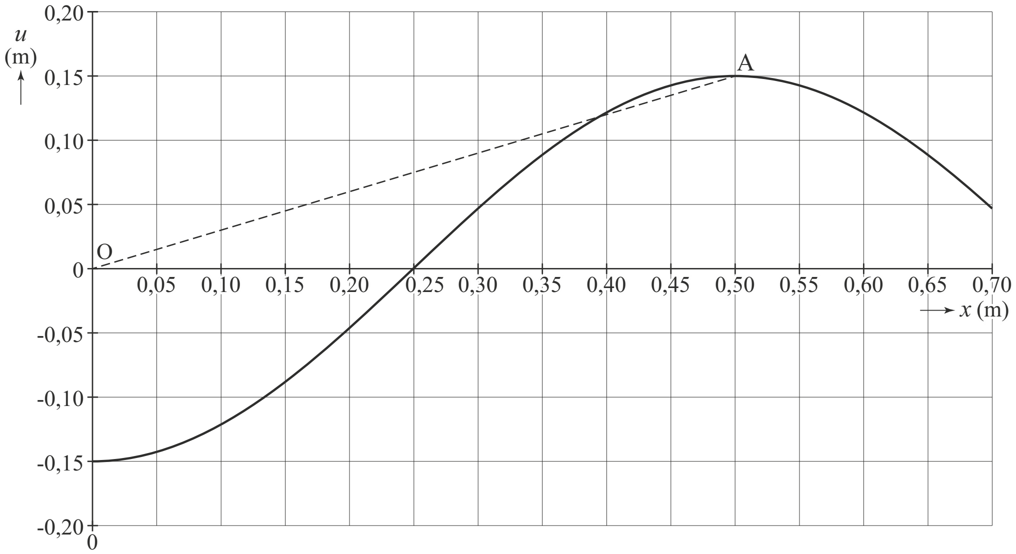
2 Bepaal uit figuur 2 de vliegsnelheid van deze zilvermeeuw.
Je mag aannemen dat de vogel recht van achteren gefotografeerd is.

©ThiemeMeulenhoff

De vliegbeweging van twee verschillende vogels wordt vergeleken. Beide vogels hebben bij *x* = 0 m de vleugeltip in de laagste stand.
Op de uitwerkbijlage is de verticale uitwijking van de vleugeltip van vogel 1 als functie van de horizontale afstand *x* weergegeven. In de figuur is tussen de oorsprong (O) en de hoogste vleugelstand (A) een rechte stippellijn getrokken.
Vogel 1 bereikt zijn uiterste vleugelstand (A) bij *x* = 0,50 m.
Vogel 2 is groter en bereikt zijn uiterste stand (B) bij *x* = 0,60 m.

3 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit dat de steilheid van OA gelijk is aan het getal van Strouhal *St*.
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage punt B.
- Bepaal de slaggrootte van vogel 2.

uitwerkbijlage bij vraag 3



©ThiemeMeulenhoff

'Indoor Skydive'

Lees onderstaand artikel.

Iedereen kan vliegen!
Bij Roosendaal bevindt zich 'Indoor Skydive'. In deze attractie ervaar je het gevoel van een 'vrije val', zonder uit een vliegtuig te springen. Je zweeft in een windtunnel in een verticale luchtstroom die een snelheid van maximaal 240 km h^{-1} kan hebben. Door je armen en benen in een iets andere positie te brengen, kun je je in de tunnel omhoog of omlaag bewegen.

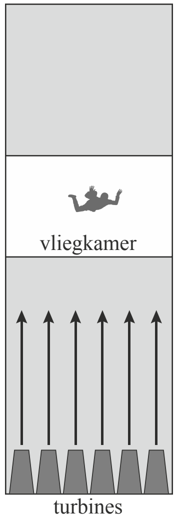
In figuur 1 staat de cilindrische toren van Indoor Skydive schematisch weergegeven. Onder in de toren bevinden zich de turbines. Dit zijn ventilatoren die de lucht omhoog blazen.

In tabel 1 staan een aantal gegevens van Indoor Skydive.

tabel 1

tunnelhoogte	23,5 m
doorsnede vliegkamer	14,6 m^2
maximale luchtsnelheid	240 km h^{-1}
maximale luchtstroom	3,5 · 10^6 m^3 h^{-1}
spanning over elke turbine	400 V
maximaal elektrisch vermogen van één turbine	0,50 MW
aantal turbines	12

figuur 1



De luchtstroom geeft aan hoeveel volume aan lucht er per tijdseenheid een doorsnede van de vliegkamer passeert.

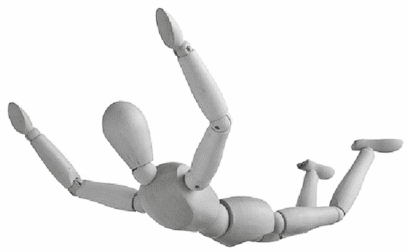
4 Toon aan dat de luchtsnelheid 240 km h^{-1} bedraagt als er sprake is van de maximale luchtstroom.

De luchtstroom op de skydiver veroorzaakt een luchtweerstandskracht.

Een skydiver (massa 70 kg) houdt zijn lichaam zoveel mogelijk in de stand zoals schematisch weergegeven in figuur 2.
Hij maakt van zijn lichaam een soort kommetje.
In dat geval geldt: $C_w = 0,50$.
Een technicus van Indoor Skydive stelt de luchtsnelheid zó in dat de skydiver stil hangt.

5 Bereken die luchtsnelheid. Maak daarvoor een schatting van de frontale oppervlakte van de skydiver.

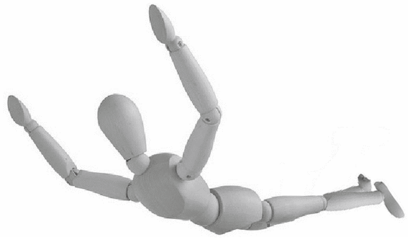
figuur 2



Om in de vliegkamer te manoeuvreren kan de skydiver zijn armen en benen in een andere stand brengen.
Op een bepaald moment strekt de skydiver zijn benen uit, zoals weergegeven in figuur 3.

6 Leg uit of de skydiver dan omhoog of omlaag zal bewegen.

figuur 3

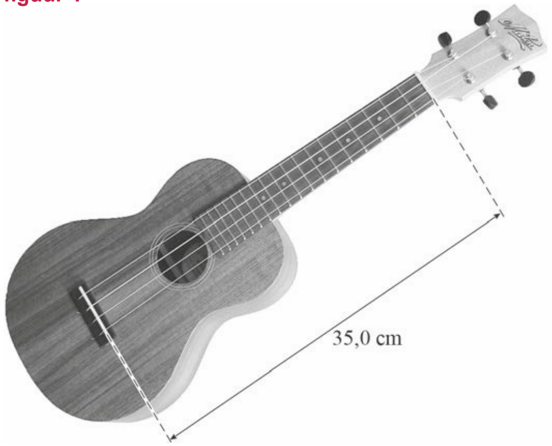


Ukelele-II

Een ukelele is een klein formaat gitaar met vier snaren. Zie figuur 1.
Daarin is aangegeven tussen welke twee punten de snaren trillen.

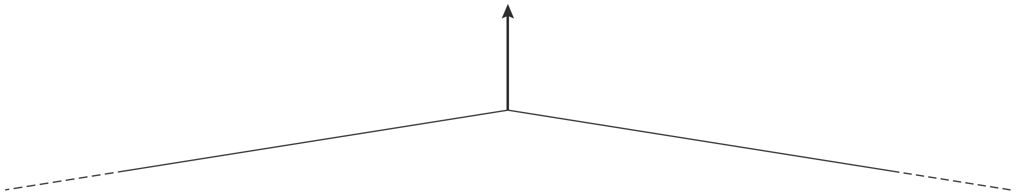
De snaren hebben een verschillende dikte, en zijn allemaal gemaakt van nylon. De lengte van een snaar op een ukelele bedraagt 35,0 cm. Zie figuur 1.
Camiel vraagt zich af hoe groot de spankracht in een snaar van de ukelele is.
Om hier achter te komen, bevestigt hij een krachtmeter aan het midden van een snaar. Als hij de snaar over een afstand van 1,0 cm omhoogtrekt, geeft de krachtmeter 3,8 N aan. Deze situatie is schematisch weergegeven op de uitwerkbijlage.
Deze figuur is niet op schaal. Als deze figuur op schaal zou zijn, zou een constructie geen nauwkeurige resultaten opleveren.

figuur 1



7 Voer de volgende opdrachten uit:
- **Teken** in de figuur op de uitwerkbijlage de vectorpijl(en) van de spankracht in de snaar op het punt waar de krachtmeter aangrijpt.
- **Bereken** vervolgens de spankracht in deze situatie.

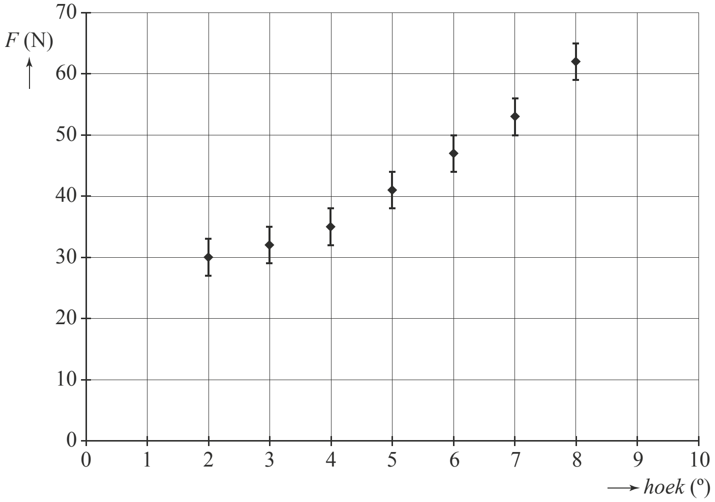
uitwerkbijlage bij vraag 7



Camiel herhaalt zijn meting waarbij hij de snaar steeds verder optrekt en berekent iedere keer de spankracht. Van die resultaten maakt hij een grafiek waarin hij de hoek van de snaar met de horizontaal uitzet tegen de spankracht. Deze grafiek staat weergegeven op de uitwerkbijlage.

8 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de reden dat de grafiek niet door de oorsprong gaat.
- Bepaal de spankracht in de snaar als er niet aan getrokken wordt.

uitwerkbijlage bij vraag 8

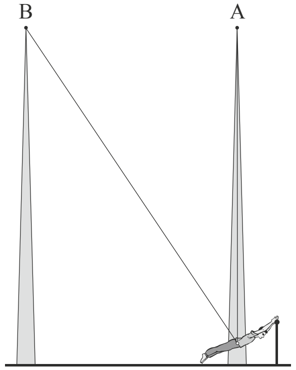


Skydiver

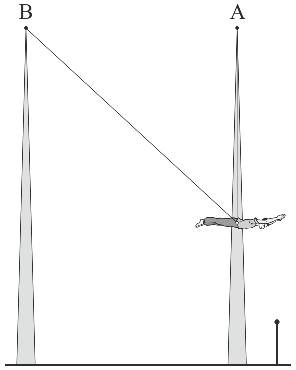
In attractiepark Walibi Holland staat de attractie 'Skydiver'. De Skydiver bestaat uit twee masten (A en B). Zie figuur 1.
Bij de start staan de passagiers recht onder de top van mast A.
Eén kabel loopt naar de top van mast A.
Een andere kabel loopt naar de top van mast B.
In figuur 2 zijn verschillende stappen schematisch weergegeven.

figuur 1

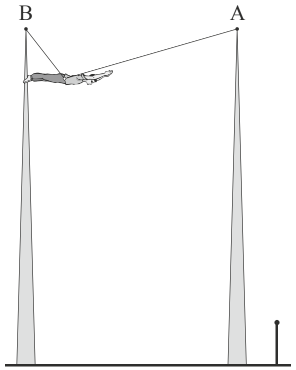
figuur 2



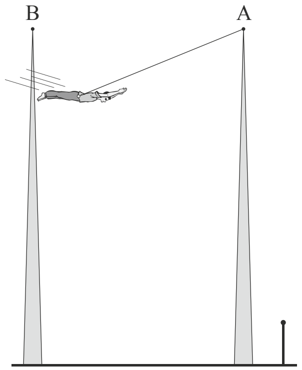
1 De passagiers worden ingesnoerd



2 De passagiers worden omhoog gehesen maar blijven recht onder de top van mast A



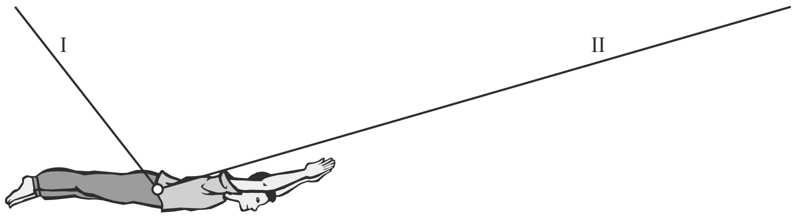
3 De passagiers worden opgehesen in de richting van mast B



4 De passagiers worden losgelaten en gaan slingeren

In figuur 3 is de situatie getekend waarin drie passagiers met een totale massa van 200 kg zijn opgehesen tot het hoogste punt. De massa van de kabels is hierbij verwaarloosd

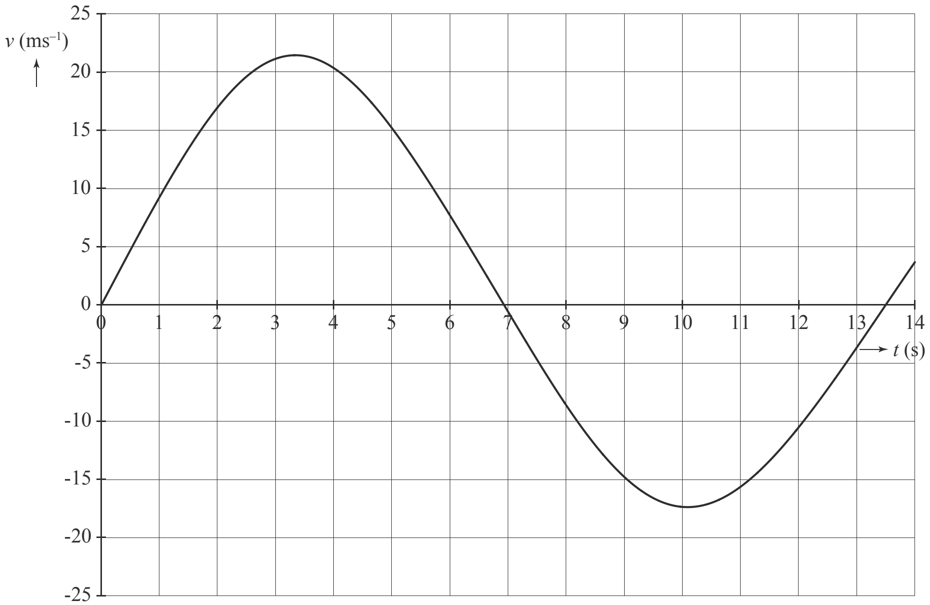
figuur 3



9 Bepaal door een constructie in figuur 3 de grootte van de spankrachten in de kabels I en II.

De passagiers worden losgelaten en gaan slingeren. In figuur 4 is het (v,t)-diagram van de eerste volledige slingering weergegeven.

figuur 4



10 Laat zien of bij deze beweging de wrijvingskrachten verwaarloosbaar zijn. Bepaal daarvoor de afstand die de passagiers afleggen in de heengaande beweging en de afstand die ze in de teruggaande beweging afleggen.

Nuna-4

De Nederlandse zonneauto Nuna-4 heeft de World Solar Challenge dwars door Australië gewonnen. Voor de vierde keer won een team van studenten van de TU Delft deze wedstrijd voor auto's op zonnecellen.

Voor de berekeningen in deze opgave gaan we er steeds van uit dat Nuna-4 op een vlakke weg rijdt.

Nuna-4 legde de afstand Darwin-Adelaide, 3021 km, af in 29 uur en 11 minuten.

11 Bereken de gemiddelde snelheid van Nuna-4 in km h^{-1}.

Om zo snel mogelijk te kunnen rijden is een aantal kenmerken in het ontwerp van Nuna-4 belangrijk.

12 Noem drie van deze kenmerken.

Tijdens de race reed Nuna-4 enige tijd met zijn topsnelheid van 140 km h^{-1}. De rolwrijving op Nuna-4 is verwaarloosbaar klein.

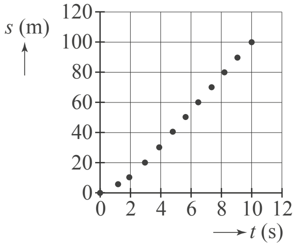
13 Leg uit dat bij het rijden op topsnelheid geldt dat de motorkracht gelijk is aan de luchtweerstandskracht.

Sprint

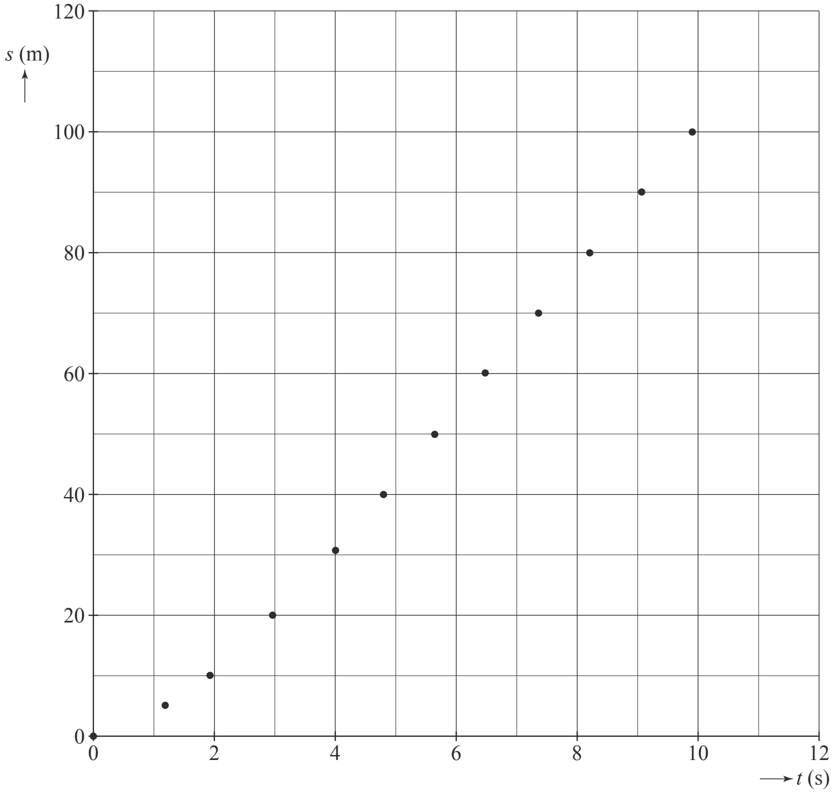
Kimberley en Jenneke maken met behulp van een video-opname een (*s*,*t*)-diagram van een sprint van Carl Lewis over 100 meter. Zie de figuren 1 en 2. Figuur 2 staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

figuur 1

figuur 2



uitwerkbijlage bij vraag 14 en 16



Over het deel van de race vanaf t = 4,0 s trekken Kimberley en Jenneke de volgende conclusies:

- Vanaf t = 4,0 s is de snelheid van Lewis constant.
- Deze snelheid is gelijk aan 11,7 m s^{-1}.

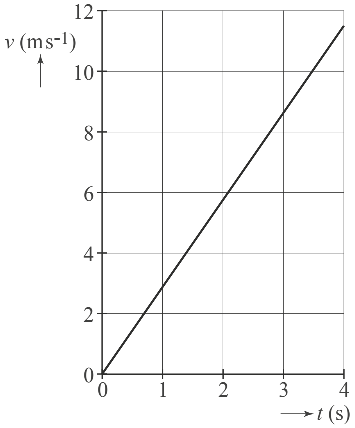
14 Laat zien met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage dat beide conclusies juist zijn.

Kimberley en Jenneke onderzoeken nu het begin van de race. Ze hebben elk een hypothese over de eerste 4 seconde.

Kimberley	Hypothese 1	“Lewis leverde in de eerste 4 s een constante kracht.”
Jenneke	Hypothese 2	“Lewis leverde in de eerste 4 s een constant vermogen.”

In het (*v*,*t*)-diagram van figuur 3 staat gegeven hoe de snelheid zou verlopen als hypothese 1 van Kimberley klopt, uitgaande van de snelheid op t = 4,0 s.
De massa van Carl Lewis bedraagt 80 kg.

figuur 3



15 Bepaal de grootte van de kracht die Kimberley in haar model heeft gebruikt.
Neem aan dat de wrijvingskrachten verwaarloosd mogen worden.

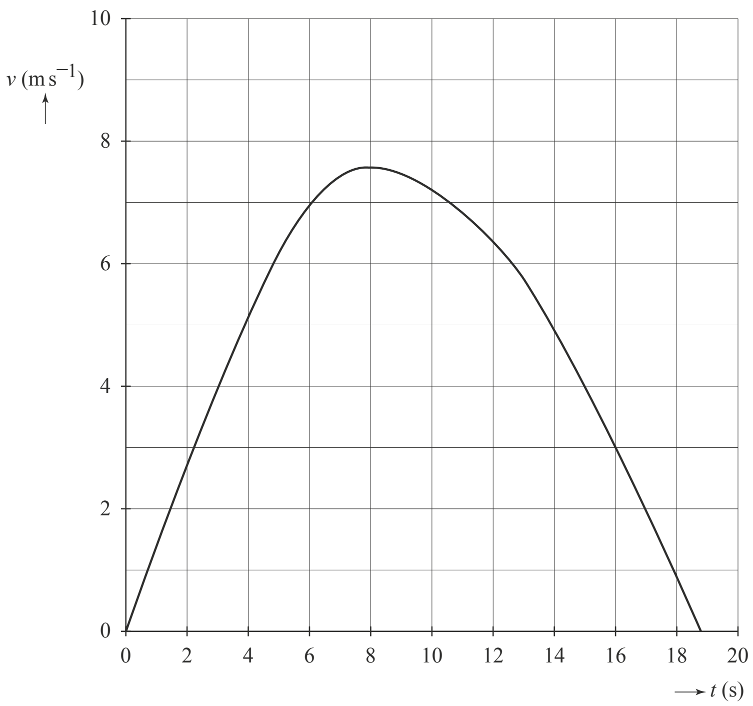
16 Laat zien dat figuur 3 en figuur 2 (zie uitwerkbijlage) niet met elkaar in overeenstemming zijn.

Trekkertrek

Bij trekkertrek (ook wel **tractor pulling** genoemd) moet een tractor een sleepwagen voorttrekken die opzettelijk een grote wrijvingskracht ondervindt: de voorkant van de wagen heeft geen wielen, maar sleept over de grond.
Tijdens het rijden schuift een zwaar ballastblok op de sleepwagen naar voren. Zo neemt de wrijvingskracht toe, waardoor de tractor met sleepwagen afgeremd wordt en tot stilstand komt.
Het doel van trekkertrek is om een zo groot mogelijke afstand af te leggen. Als deze afstand 100 meter of meer is, is er sprake van een ‘full pull’.
Figuur 2 toont het (*v*,*t*)-diagram van een deelnemer.

figuur 1

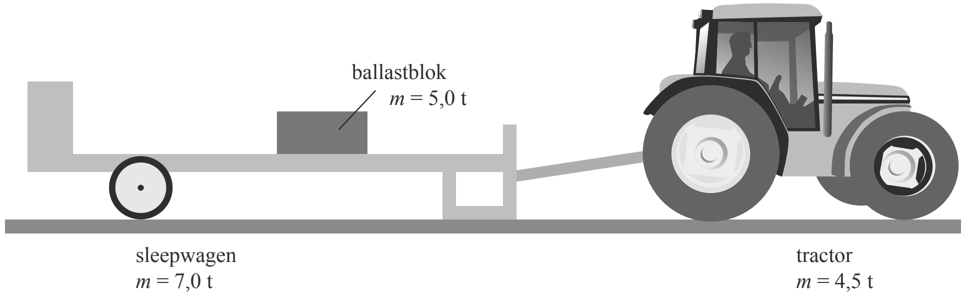
figuur 2



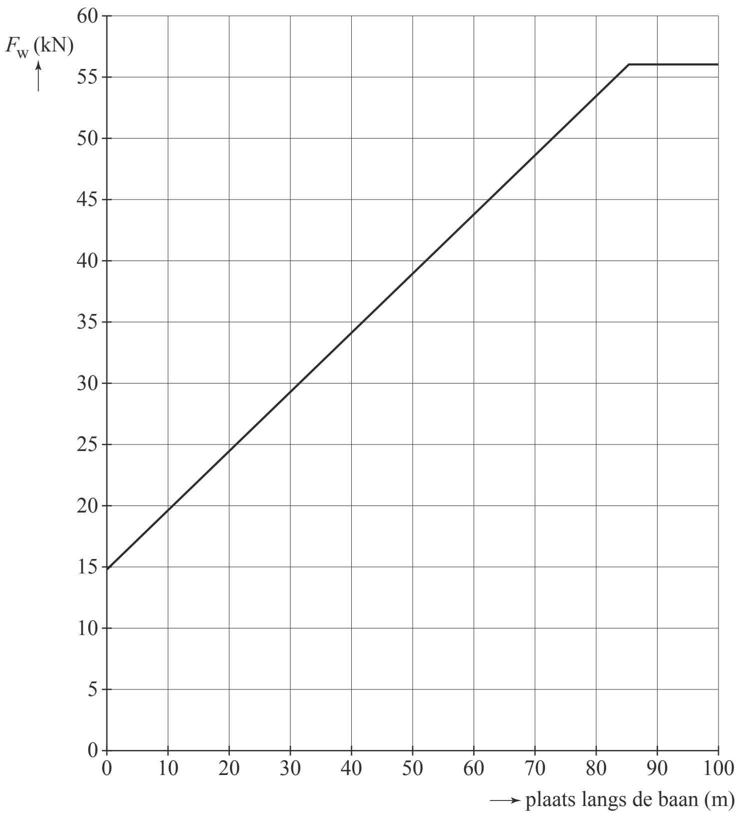
17 Ga na met behulp van figuur 2 of deze poging een 'full pull' opleverde.

De tractor en de sleepwagen zijn schematisch getekend in figuur 3.
Daarbij zijn de massa's van de tractor, de sleepwagen en het ballastblok vermeld.
De massa is uitgedrukt in ton.

figuur 3



figuur 4



In figuur 4 is in een diagram het verloop van de wrijvingskracht op de sleepwagen weergegeven als de wagen de volledige afstand van 100 m zou afleggen ('full pull').
De bestuurder moet erop letten dat de achterwielen van de tractor niet gaan 'spinnen'.
Daarbij draaien de wielen snel rond en vliegt veel zand weg. Dat gebeurt als de motor té veel kracht op de wielen uitoefent.
Een vuistregel voor de optimale trekkracht die de tractor zou moeten leveren is:
'De trekkracht is gelijk aan het eigen gewicht (in Newton) van de tractor.'

18 Ga na of de trekkracht van de tractor tijdens de eerste paar seconden aan de vuistregel voldoet. Bepaal hiertoe de trekkracht bij de start.

Jelle en Tjerk discussiëren over het spinnen.
Jelle zegt dat bij spinnen de wielen geen grip hebben op de grond, waardoor de bodem minder kracht op de wielen uitoefent.
Tjerk zegt, dat (daardoor) bij spinnen de derde Wet van Newton niet geldt.
19 Leg voor beide uitspraken uit of ze juist zijn.

De wedstrijden worden ingedeeld in gewichtsklassen.
In het technisch reglement van een trekkertrekvereniging staat tabel 1.

Een tractor die lichter is dan de gewichtsgrens, mag door ballast zwaarder gemaakt worden tot het maximale gewicht.

20 Geef één voordeel en één nadeel van het zwaarder maken van de tractor.

tabel 1

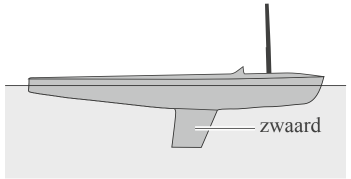
klasse	maximaal gewicht	maximaal vermogen	
	(kg)	(kW)	(pk)
1	2800	48	65
2	3500	63	80
3	4500	81	105
4	5500	103	130
5	7000	132	160

Zeilen

Een zeilboot kan schuin tegen de wind in varen. In figuur 1 zie je Maarten, met zijn zeilboot onder een hoek van 45° tegen de wind in vaart.
Deze zeilboot heeft een zwaard. Zie figuur 2. Het zwaard zorgt ervoor dat de boot niet in zijwaartse richting afdrijft.

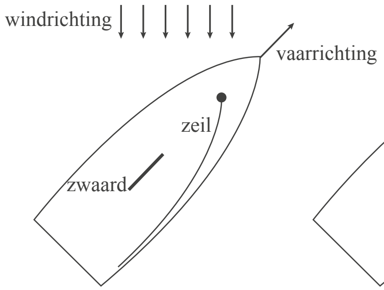
figuur 1

figuur 2

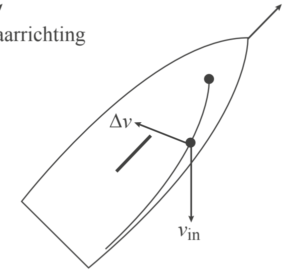


In figuur 3 zie je een bovenaanzicht van de zeilboot van figuur 1.
Door de stand van het zeil ondervindt de wind een snelheidsverandering. De wind bereikt het zeil met een snelheid $\vec{v}_{in}$ en verlaat het zeil met snelheid $\vec{v}_{uit}$.
Er geldt: $\Delta\vec{v} = \vec{v}_{uit} - \vec{v}_{in}$.
In figuur 4 zijn $\vec{v}_{in}$ en de snelheidsverandering $\Delta\vec{v}$ getekend.

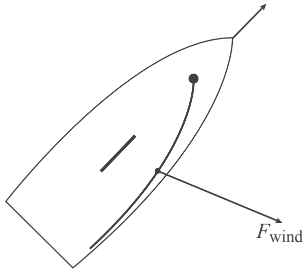
figuur 3



figuur 4



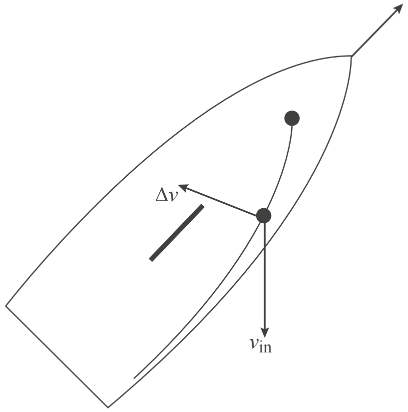
figuur 5



Figuur 4 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

21 Construeer in de figuur op de uitwerkbijlage $\vec{v}_{uit}$.

uitwerkbijlage bij vraag 21



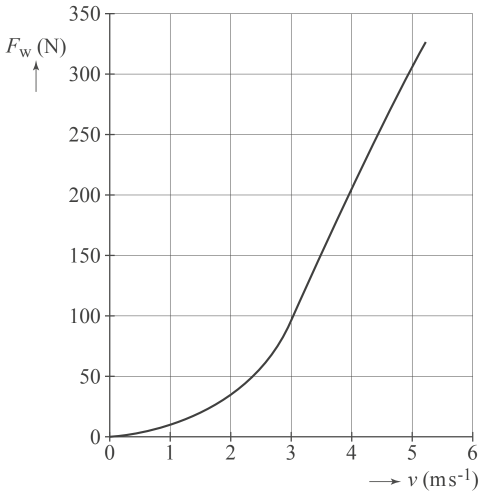
Door de snelheidsverandering van de wind ontstaat er op het zeil een kracht $\vec{F}_{wind}$.
De richting van $\vec{F}_{wind}$ is tegengesteld aan de richting van $\Delta\vec{v}$.

22 Leg uit waarom.

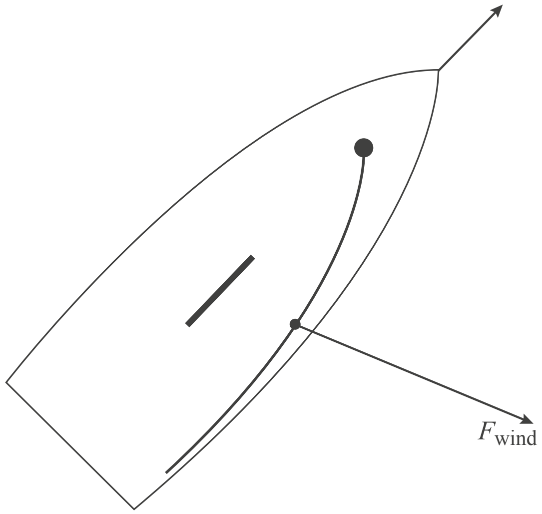
De grootte van $\vec{F}_{wind}$ in figuur 5 is 450 N. Deze kracht kun je ontbinden in twee componenten. Eén component in de vaarrichting en één component loodrecht daarop. Het zwaard zorgt ervoor dat de boot niet zijwaarts beweegt. Figuur 5 staat vergroot op de uitwerkbijlage.
Op de boot werkt een wrijvingskracht $\vec{F}_w$ die tegengesteld gericht is aan de vaarrichting van de boot.
In figuur 6 staat de grootte van deze wrijvingskracht $\vec{F}_w$ als functie van de snelheid van de boot.

23 Bepaal de snelheid van de boot bij deze windkracht.
Bepaal daartoe eerst op de uitwerkbijlage de grootte van de component van $\vec{F}_{wind}$ in de vaarrichting.

figuur 6



uitwerkbijlage bij vraag 23



Een sprong bij volleybal

Bij volleybal springt een speler vaak uit stand recht omhoog. Zie figuur 1.

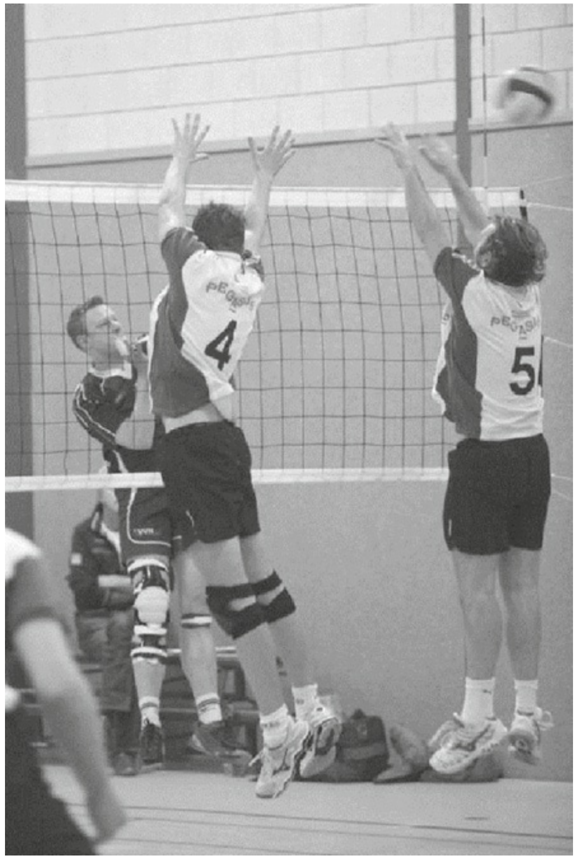
De verticale snelheid van het zwaartepunt van een volleyballer tijdens de afzet en de daaropvolgende beweging los van de grond is weergegeven in figuur 2.

Tijdens de sprong zijn de 'afzetkracht' en de zwaartekracht van belang. De afzetkracht is de kracht van de grond op de volleyballer tijdens de afzet.

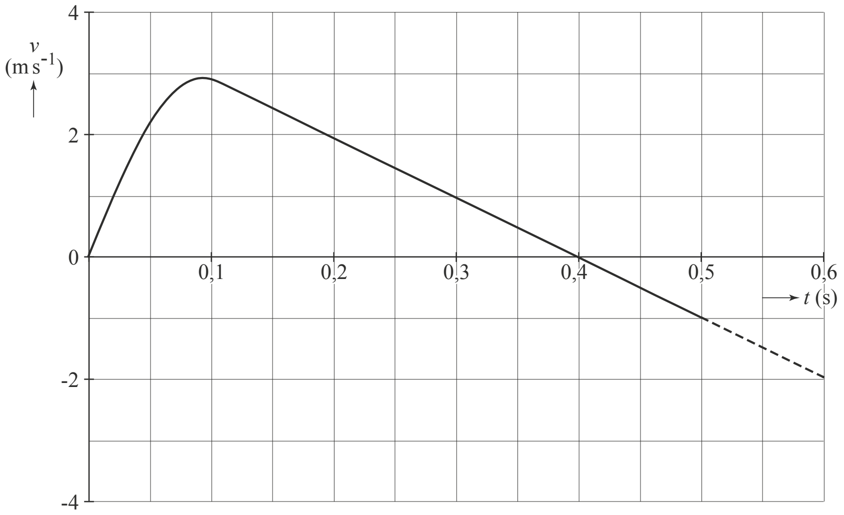
We verwaarlozen in deze opgave de luchtweerstand. De volleyballer heeft een massa van 75 kg.

24 Bepaal met behulp van figuur 2 de maximale afzetkracht op de volleyballer.

figuur 1



figuur 2

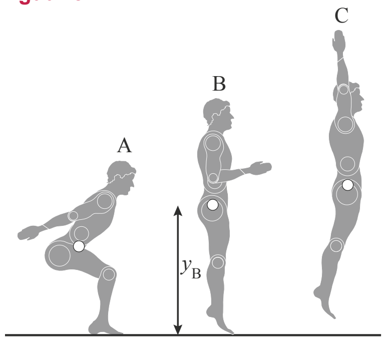


25 Bepaal met behulp van figuur 2 het hoogteverschil van het zwaartepunt van de volleyballer tussen het begin van de afzet en het hoogste punt.

Bij de studie bewegingswetenschappen wordt zo'n verticale sprong bestudeerd. Daarbij wordt een computermodel gebruikt van een andere sprong dan de sprong van figuur 2.

Een sprong bestaat uit een afzet en een beweging los van de grond. Drie momenten van een sprong staan in figuur 3 weergegeven.
Figuur 3 is niet op schaal

figuur 3



- In positie A is de springer maximaal door zijn knieën gezakt. Dit noemen we het begin van de sprong.
- In positie B komt de springer los van de grond.
- In positie C bevindt de springer zich in het hoogste punt.

Het afzetten wordt vergeleken met het ontspannen van een gespannen veer.
Daarbij geldt voor de grootte van de afzetkracht:

$F_{afzet} = Cu = C(y_B - y)$.

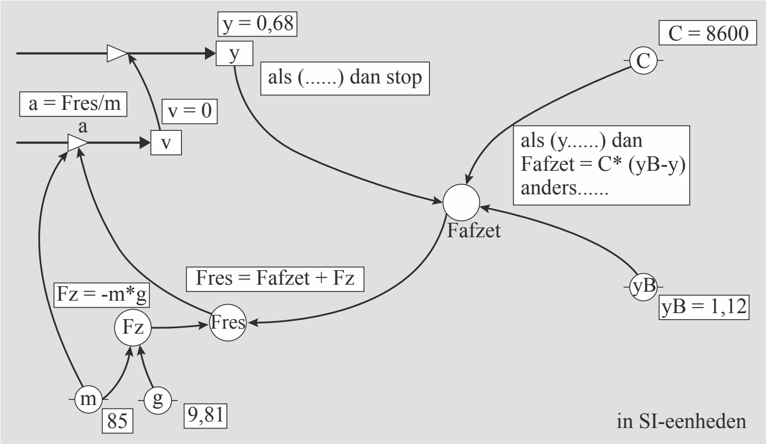
Hierin is:
- C de veerconstante,
- u de uitwijking vanaf de evenwichtsstand,
- y de hoogte van het zwaartepunt boven de grond,
- y_B de hoogte van het zwaartepunt op het moment dat de springer loskomt van de grond.

Het computermodel is op twee manieren weergegeven in de figuren 4a en 4b. Je kunt één van de twee manieren kiezen.
In elk model zijn drie regels opengelaten.

figuur 4a

model	startwaarden (in SI-eenheden)
Fz = –m * g	t = 0
als (y…..) dan	dt = 0,001
Fafzet = C * (yB - y)	
anders	y = 0,68
…………….	v = 0
eindals	m = 85
Fres = Fafzet + Fz	g = 9,81
a = Fres / m	C = 8600
v = v + a * dt	yB = 1,12
y = y + v * dt	
t = t + dt	
als (……….) dan stop	
eindals	

figuur 4b



Het model moet aan de volgende eisen voldoen:
- De afzetkracht wordt voor alle waarden van y correct beschreven.
- Op het hoogste punt (positie C in figuur 3) stopt het model.

26 Vul in figuur 4a of 4b het model zo aan dat aan bovenstaande eisen wordt voldaan. (Kies één van de twee manieren.)

Hints bij hoofdstuk 4

1 Wat is het verband tussen de periode T en de frequentie f?
2 Bereken eerst de tijdsduur van één volledige op- en neergaande vleugelbeweging.
3 – Druk de steilheid van de lijn OA uit in d en x.
– Gebruik het getal van Strouhal.
– Hoe vind je uit de uitwerkbijlage de slaggrootte van vogel 1?
4 $V = A \cdot \ell$.
5 Er is evenwicht, dus de som van de krachten is nul.
6 Bij het strekken van de benen neemt de frontale oppervlakte toe.
7 Maak gebruik van een parallellogram constructie.
8 Teken een vloeiende lijn door de meetpunten.
9 De drie krachten die op de passagiers werken, houden elkaar in evenwicht.
10 Hoe bepaal je uit een (v,t)-diagram de afgelegde weg?
11 Druk de tijd t uit in uren.
12 Denk aan wrijving en aan rendement.
13 Welke krachten werken er in horizontale richting?
14 Wat betekent een rechte lijn in een (s,t)-diagram voor de snelheid?
15 Welk verband is er tussen F, m en a?
16 Welke betekenis heeft de oppervlakte onder een (v,t)-diagram?
17 Hoe vind je de afgelegde weg uit een (v,t)-diagram?
18 Hoe vind je de versnelling uit een (v,t)-diagram?
19 Wat gebeurt er met de kracht die de banden op de grond uitoefenen bij het slippen?
20 Wat gebeurt er met de grip en wat met de versnelling?
21 Maak gebruik van een parallellogram constructie.
22 Welk verband is er tussen $\vec{F}$, m, $\Delta\vec{v}$ en Δt?
23 Ontbind de windkracht in een component evenwijdig aan en een component loodrecht op de vaarrichting.
24 Hoe bepaal je de versnelling uit een (v,t)-diagram?
25 Op welk tijdstip bevindt het zwaartepunt zich in het hoogste punt?
26 Voor welke waarden van y is de springer nog niet los van de grond?

Uitwerkingen bij hoofdstuk 4

Vliegen

1 Er geldt: $St = \frac{f \cdot d}{v} = \frac{d}{v \cdot T} = \frac{d}{x}$

x is de afstand die de vogel aflegt in één volledige op- en neergaande beweging van de vleugels. Er geldt dus: $x = v \cdot t = v \cdot T$, waarin T de tijdsduur is van die volledige op- en neergaande beweging, dus $T = \frac{1}{f}$.

2 De vliegsnelheid v van de zilvermeeuw volgt uit:

$St = \frac{d}{x} = \frac{d}{v \cdot T} \Rightarrow v = \frac{d}{St \cdot T}$, waarin:

St = getal van Strouhal = 0,30

d = slaggrootte = hoogteverschil tussen het hoogste punt en het laagste punt van de vleugeltippen. Vergelijking van figuur 2a en 2c laat zien dat d de hoogte van het plaatje is maal de schaalfactor $\Rightarrow$ d = 1,6 cm · schaalfactor.
De schaalfactor laat zich makkelijk bepalen uit figuur 2b.
De werkelijke spanwijdte van de zilvermeeuw is 1,40 m = 140 cm.

In figuur 2b is dat 3,9 cm $\Rightarrow$ schaalfactor = $\frac{140}{3{,}9}$ = 35,90

zodat: d = 1,6 cm · 35,90 = 57,4 cm = 0,574 m

x = afstand die de vogel aflegt in een tijdsduur T

T = periode van de vleugelslag = tijdsduur van één volledige op- en neergaande beweging = 4 · 40 ms = 160 ms = $160 \cdot 10^{-3}$ s
Het verschil in tijd tussen figuur 2a, 2b en 2c is steeds $\frac{1}{4} \cdot T$.

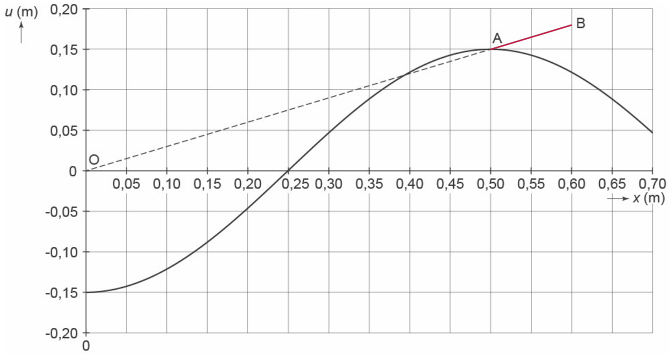
Invullen: $v = \frac{d}{St \cdot T} = \frac{0{,}574}{0{,}30 \cdot 160 \cdot 10^{-3}} = 12 \text{ m s}^{-1}$

3
- De uiterste vleugelstand in punt A is de helft van de slaggrootte = $\frac{1}{2} \cdot d$

  In figuur 3 gaan de vleugeltippen van de laagste naar de hoogste stand, dus de horizontale verplaatsing in A = $\frac{1}{2} \cdot x$

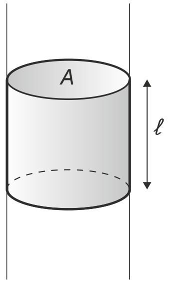
  De steilheid van de lijn OA is dus inderdaad $\frac{\frac{1}{2} \cdot d}{\frac{1}{2} \cdot x} = \frac{d}{x} = St$ $\left(= \frac{0{,}15}{0{,}50} = 0{,}30\right)$
- Zie de tekening.
  Beide vogels hebben dezelfde waarde van het getal van Strouhal (= 0,30).
  Dus de lijn OB voor de grotere vogel heeft dezelfde steilheid.
  Verleng dus de stippellijn OA. B ligt op het verlengde van OA voor x_B = 0,60 m.
- Voor de uiterste vleugelstand van vogel 2 (punt B) geldt:
  $\frac{1}{2} \cdot d_2$ = 0,18 m (afgelezen in de tekening) $\Rightarrow$ de slaggrootte d_2 = 2 · 0,18 = 0,36 m

d_2 is natuurlijk ook te berekenen uit:
$St = \frac{d_B}{x_B} = 0{,}30$



'Indoor Skydive'

4 Zie de tekening.
De luchtstroom Q is het volume V van de lucht die per tijdseenheid een doorsnede A van de vliegkamer passeert $\Rightarrow$



$\Rightarrow Q = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot \ell}{t} = A \cdot v$ (Binas 35A1) $\Rightarrow v = \frac{Q}{A}$, waarin:

Q = maximale luchtstroom = $3{,}5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (zie tabel 1) =
$= \frac{3{,}5 \cdot 10^6 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 9{,}72 \cdot 10^2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

V = volume van de lucht die per seconde een doorsnede van de vliegkamer passeert

t = tijdsduur = 1,00 s

A = doorsnede van de vliegkamer = 14,6 m^2 (zie tabel 1)

ℓ = maximale lengte van het volume van de lucht die per seconde A passeert

v = maximale luchtsnelheid =
$= \frac{9{,}72 \cdot 10^2}{14{,}6} = 66{,}6 \text{ m s}^{-1} = 66{,}6 \cdot 3{,}6 \text{ km h}^{-1} = 240 \text{ km h}^{-1}$

Bij de maximale luchtstroom is er dus sprake van een luchtsnelheid van 240 km h^{-1}

5 De luchtsnelheid v waarbij de skydiver stil hangt, volgt uit:

$$\left.\begin{array}{l} F_w = F_z = m \cdot g \text{ (Binas 35A3)} \\ F_w = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \text{ (Binas 35A3)} \end{array}\right\} \Rightarrow m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \Rightarrow v^2 = \frac{2 \cdot m \cdot g}{C_w \cdot \rho \cdot A},$$

waarin:

F_w = luchtweerstandskracht die de skydiver ondervindt

F_z = zwaartekracht op de skydiver

m = massa van de skydiver = 70 kg

g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)

C_w = luchtweerstandscoëfficiënt = 0,50

ρ = dichtheid van lucht = 1,293 kg m^{-3} (Binas 12)

A = frontale oppervlakte van de skydiver
We schatten $A = \ell \cdot b$ = 1,8 m · 0,45 m = 0,8 m^2

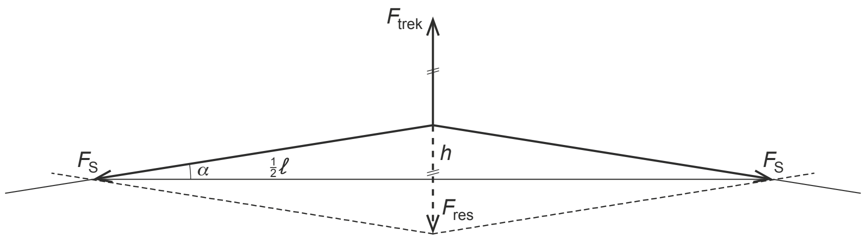
Invullen: $v^2 = \frac{2 \cdot 70 \cdot 9{,}81}{0{,}50 \cdot 1{,}293 \cdot 0{,}8} = 2{,}655 \cdot 10^3 \Rightarrow v = \sqrt{2{,}655 \cdot 10^3} = 5 \cdot 10^1 \text{ m s}^{-1}$

6 Door zijn benen te strekken, vergroot de skydiver zijn frontale oppervlakte A.
Hierdoor vergroot hij zijn luchtweerstandskracht $F_w = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ (Binas 35A3).

F_w (omhoog gericht) wordt dan dus groter dan F_z (omlaag gericht), waardoor de skydiver omhoog zal bewegen.
Ook de weerstandscoëficient zal wat toenemen omdat het lichaam wat hoekiger van vorm is geworden. Ook hierdoor zal F_w wat toenemen.

Ukelele-II

7 Zie tekening 1.



tekening 1

Er is evenwicht, dus de vectorsom F_{res} van de spankrachten is even groot als, maar tegengesteld gericht aan de trekkracht F_{trek}.
Teken F_{res} beginnend in het aangrijpingspunt van de trekkracht, verticaal omlaag en even groot als F_{trek}. Teken vanuit de pijlpunt van F_{res} twee lijnen evenwijdig aan de snaar (parallellogram constructie) tot ze de snaar snijden. Teken vanuit het aangrijpingspunt van F_{trek} de beide spankrachten F_s in de snaar tot aan deze snijpunten.

We berekenen de grootte van de spankrachten F_s met:

$$\sin\alpha = \frac{\frac{1}{2}\cdot F_{res}}{F_s} = \frac{\frac{1}{2}\cdot F_{trek}}{F_s} \Rightarrow F_s = \frac{\frac{1}{2}\cdot F_{trek}}{\sin\alpha}\text{, waarin:}$$

α = hoek van de snaar met de horizontaal

Er geldt: $\tan\alpha = \dfrac{h}{\frac{1}{2}\cdot \ell}$, met:

h = verticale uitrekking van de snaar = 1,0 cm
ℓ = horizontale lengte van de snaar = 35 cm

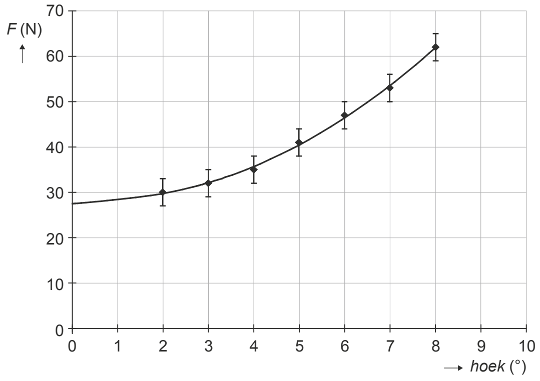
zodat: $\tan\alpha = \dfrac{1{,}0}{\frac{1}{2}\cdot 35} = 0{,}0571 \Rightarrow \alpha = 3{,}27°$

F_{res} = vectorsom van de spankrachten
F_{trek} = trekkracht = 3,8 N

Invullen: $F_s = \dfrac{\frac{1}{2}\cdot 3{,}8}{\sin 3{,}27} = 33$ N

8 De snaar van de ukelele is al gespannen en er zal dus al sprake zijn van een spankracht in de snaar zonder verticale uitrekking. De grafiek zal dus niet door het nulpunt gaan.

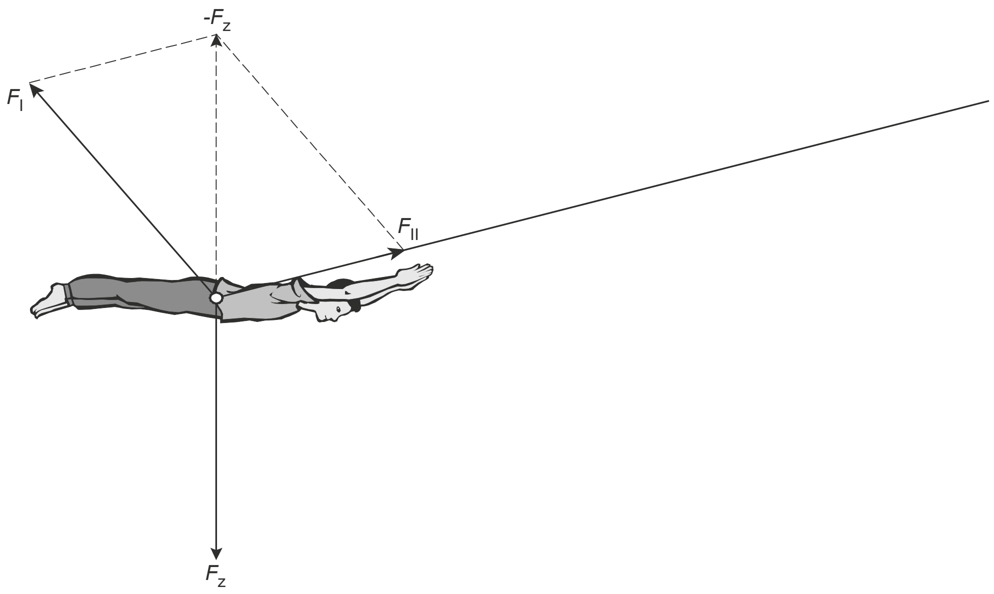
Zie tekening 2.
Teken in de figuur op de uitwerkbijlage een vloeiende lijn door de meetpunten.
Bij het snijpunt met de verticale as lezen we de spankracht af als er niet aan de snaar wordt getrokken:
F = 27 N.



tekening 2

Skydiver

9 Zie tekening 1.



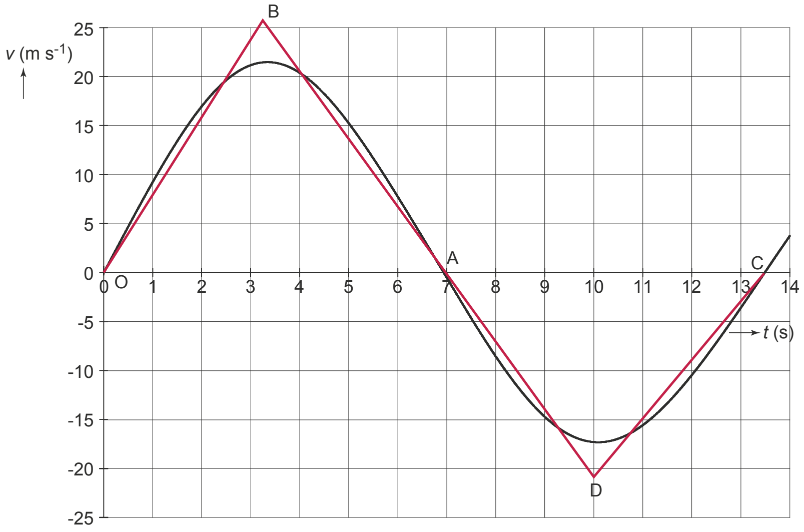
tekening 1

De drie passagiers zijn in rust, dus er is evenwicht van krachten.
Teken eerst de zwaartekracht F_z omlaag op de drie passagiers. Geef deze pijl F_z een lengte van 4,0 cm.
In de y-richting geldt: $\Sigma F_y = 0$, dus F_z wordt gecompenseerd door de omhoog gerichte kracht $-F_z$, met lengte 4,0 cm.
Ontbind deze kracht $-F_z$ in de richtingen van de twee kabels.
Dat geeft de spankrachten F_l en F_{ll}.
Er geldt: $F_z = m \cdot g$ (Binas 35A3) = $200 \cdot 9{,}81 = 1{,}96 \cdot 10^3$ N
(voor de valversnelling g : zie Binas 7A).
Een lengte van 4,0 cm komt dus overeen met een kracht van $1{,}96 \cdot 10^3$ N.
Opmeten in tekening 1 geeft:

$$F_l = \frac{4{,}3}{4{,}0}\cdot 1{,}96 \cdot 10^3 = 2{,}1 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{ll} = \frac{2{,}9}{4{,}0}\cdot 1{,}96 \cdot 10^3 = 1{,}4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

10 Zie tekening 2.



tekening 2

De afgelegde weg s_{heen} bij de heengaande beweging is de oppervlakte onder de grafiek in het (v,t)-diagram van t = 0 s tot t = 6,9 s.
Deze oppervlakte is ongeveer gelijk aan de oppervlakte van ΔOAB.

Dus: $s_{heen} = \frac{1}{2} \cdot (6{,}9 - 0) \cdot 26 = 90$ m

De afgelegde weg s_{terug} bij de teruggaande beweging is de oppervlakte boven de grafiek in het (v,t)-diagram van t = 6,9 s tot t = 13,5 s.
Deze oppervlakte is ongeveer gelijk aan de oppervlakte van ΔACD.

Dus: $s_{terug} = \frac{1}{2} \cdot (13{,}5 - 6{,}9) \cdot 21 = 69$ m

Als er geen wrijving zou zijn, zou gelden: $s_{heen} = s_{terug}$
In de situatie hierboven is s_{heen} veel groter dan s_{terug}, dus de wrijvingskrachten zijn niet te verwaarlozen.
Korter: OA > AC en de amplitudo van de berg is groter dan die van het dal ⇒
⇒ de oppervlakten zijn verschillend.

Nuna-4

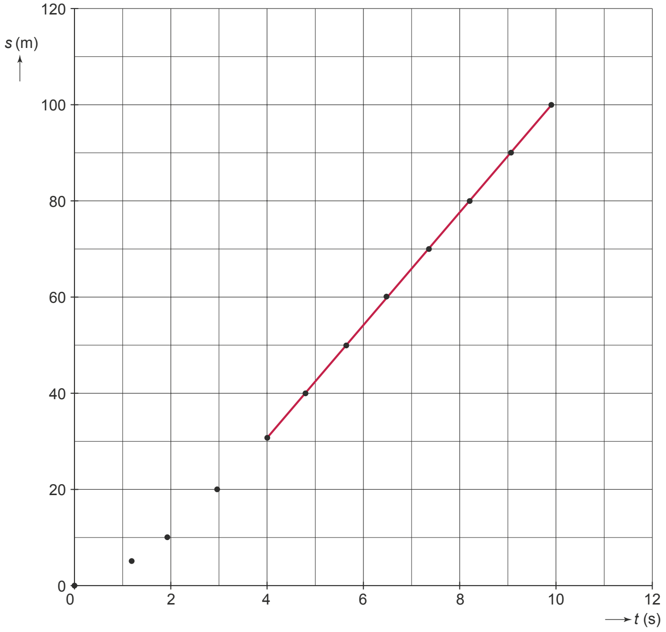
11 De gemiddelde snelheid v_{gem} van Nuna-4 volgt uit: $v_{gem} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ (Binas 35A1), waarin:
Δs = afgelegde afstand = 3021 km
Δt = tijd, nodig om deze afstand af te leggen = 29 uur en 11 minuten =
$\left(29 + \frac{11}{60}\right)$ uur = 29,18 h
Invullen: $v_{gem} = \frac{3021}{29{,}18} = 103{,}5$ km h^{-1}

12 *Voorbeelden van kenmerken:*
- weinig wrijving met de grond (kleine rolwrijvingskracht)
- weinig wrijving met de lucht (kleine luchtweerstandskracht)
- groot oppervlak van de zonnepanelen
- hoog rendement van de zonnepanelen
- hoog rendement van de motor

13 Als de Nuna-4 op zijn topsnelheid rijdt, is zijn snelheid constant. Dan is de som van de krachten op de auto nul: $F_{res} = 0$
Doordat de rolwrijvingskracht op de auto verwaarloosbaar klein is, werken er in horizontale richting twee krachten: de motorkracht en de luchtweerstandskracht. Deze krachten heffen elkaar op, dus zijn in grootte aan elkaar gelijk.

Sprint

14 Zie de tekening (de ingetekende uitwerkbijlage).



- Vanaf t = 4,0 s liggen de meetpunten van het (s,t)-diagram op een rechte lijn ⇒ ⇒ vanaf t = 4,0 s is de snelheid van Carl Lewis constant.
- De snelheid v vanaf t = 4,0 s is gelijk aan de helling van de getekende rechte lijn:

$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ (Binas 35A1), waarin:
Δx = afstand die Lewis na t = 4,0 s nog moest afleggen = 100 – 31 = 69 m (afgelezen in de tekening)
Δt = tijdsduur = 9,9 – 4,0 = 5,9 s (afgelezen in de tekening)
Invullen: $v = \frac{69}{5{,}9} = 11{,}7$ m s^{-1}

15 We bepalen de grootte van de kracht F met: $F = m \cdot a$ (Binas 35A3), waarin:
m = massa van Lewis = 80 kg
a = versnelling in de eerste 4,0 s

Er geldt: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (Binas 35A1), met:
Δv = snelheidstoename = 11,7 – 0 = 11,7 m s^{-1}
Δt = tijdsduur = 4,0 s
zodat: $a = \frac{11{,}7}{4{,}0} = 2{,}93$ m s^{-2}

Invullen: $F = 80 \cdot 2{,}93 = 2{,}3 \cdot 10^2$ N

16 Zie figuur 3.
De afgelegde weg s tijdens de eerste 4,0 s is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t)-diagram. Er geldt: $s = \frac{1}{2} \cdot \textit{hoogte} \cdot \textit{basis} = \frac{1}{2} \cdot 11{,}7 \cdot 4{,}0 = 23$ m
Zie figuur 2.
We lezen af dat de afgelegde weg na 4,0 s overeenkomt met 31 m.
De figuren 3 en 2 zijn dus niet met elkaar in overeenstemming.
Aflezen van de snelheid in figuur 3 geeft: $v = 11{,}5$ m s^{-1}; gebruik van deze waarde is goed.

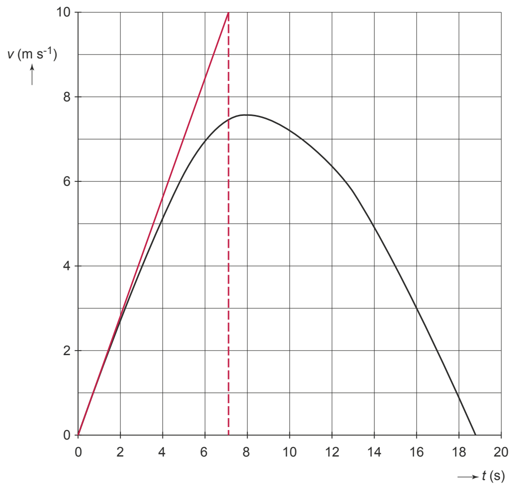
Trekkertrek

17 De afgelegde weg s is gelijk aan de oppervlakte A onder de grafiek van figuur 2. Het aantal 'hokjes' onder de grafiek is ongeveer 44,5. De oppervlakte van één hokje komt overeen met een afgelegde weg van 1,0 m $s^{-1} \cdot 2{,}0$ s = 2,0 m.
Dus: $s = A = 44{,}5 \cdot 2{,}0 = 89$ m.
Deze poging leverde dus geen 'full pull' op.

18 Zie de tekening.
We vergelijken de trekkracht F_{trek} met het eigen gewicht F_z van de tractor.
Voor de grootte van F_{trek} geldt: $F_{res} = F_{trek} - F_w \Rightarrow F_{trek} = F_{res} + F_w$, met:
F_{res} = resulterende kracht op de sleepwagen
= $m \cdot a$ (Binas 35A4), met:
m = massa van sleepwagen, ballastblok en tractor samen =
= (7,0 + 5,0 + 4,5) t = 16,5 t =
= $16{,}5 \cdot 10^3$ kg
a = versnelling bij de start
Bepaling van a:
Teken de raaklijn aan de grafiek in het punt waarvoor $t = 0$ s.

Er geldt: $a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$
(Binas 35A1), met:
Δv = snelheidstoename = 10 m s^{-1}
Δt = tijdsduur = 7,1 s
(afgelezen in de tekening)

zodat: $a = \frac{10}{7{,}1} = 1{,}41$ m s^{-2}



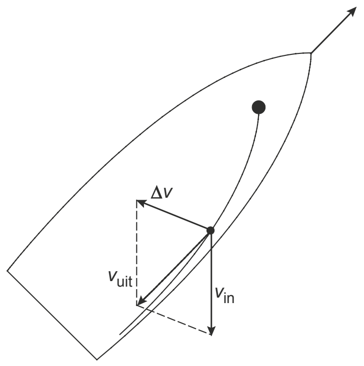
zodat: $F_{res} = 16{,}5 \cdot 10^3 \cdot 1{,}41 = 23{,}3 \cdot 10^3$ N
F_w = wrijvingskracht op $t = 0$ s. Aflezen in figuur 4 geeft: $F_w = 15{,}0$ kN $= 15{,}0 \cdot 10^3$ N
$\Rightarrow F_{trek} = (23{,}3 + 15{,}0) \cdot 10^3$ N $= 3{,}8 \cdot 10^4$ N
Het eigen gewicht van de tractor F_z vinden we uit: $F_z = m \cdot g$ (Binas 35A3), waarin:
m = massa van de tractor = 4,5 t = $4{,}5 \cdot 10^3$ kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
$\Rightarrow F_z = 4{,}5 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 = 4{,}4 \cdot 10^4$ N
F_{trek} en F_z laten zich dus enigszins met elkaar vergelijken en dus wordt aan de vuistregel voldaan.
De conclusie 'Voldoet niet aan de vuistregel' werd op het examen ook goed gerekend.

19 Jelle heeft gelijk. Door het spinnen oefent de tractor minder kracht uit op de bodem en dus oefent de bodem ook minder kracht uit op de tractor (volgens de derde wet van Newton).
Tjerk heeft dus ongelijk. De derde wet van Newton geldt altijd en is juist de reden, waarom de tractor 'geen kracht kan zetten'.

20 – Een voordeel van een zwaardere tractor is dat deze meer grip heeft op de grond.
– Een nadeel van een zwaardere tractor is dat bij gelijkblijvende kracht de versnelling kleiner wordt ($F = m \cdot a$)

Zeilen

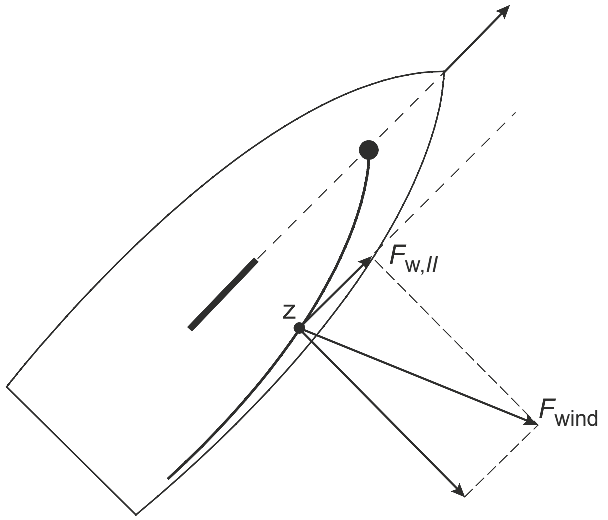
21 Zie tekening 1.
Er geldt: $\Delta\vec{v} = \vec{v}_{uit} - \vec{v}_{in} \Rightarrow \vec{v}_{uit} = \Delta\vec{v} + \vec{v}_{in}$
Teken de vectorsom $\Delta\vec{v} + \vec{v}_{in}$ met behulp van een parallellogram. De diagonaal $\vec{v}_{uit}$ is het resultaat.



tekening 1

22 Voor de kracht $\vec{F}_{zeil}$ van het zeil op de wind geldt:
$\vec{F}_{zeil} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ (Binas 35A3) $\Rightarrow$ $\vec{F}_{zeil}$ en $\Delta\vec{v}$ hebben dezelfde richting.
Ten gevolge van de kracht $\vec{F}_{zeil}$ werkt er een even grote, maar tegengestelde reactiekracht $\vec{F}_{wind}$ van de wind op het zeil.
De richting van $\vec{F}_{wind}$ is dus tegengesteld gericht aan $\Delta\vec{v}$.

23 Zie tekening 2.



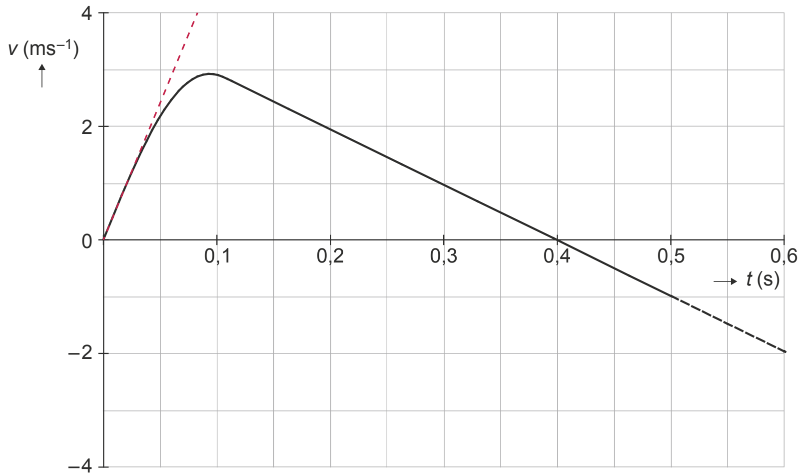
tekening 2

Ontbind de windkracht F_{wind} in de component $F_{w,//}$ evenwijdig aan de vaarrichting en een component loodrecht op de vaarrichting.
De grootte van de component $F_{w,//}$ bepalen we met:
$\frac{F_{w,//}}{F_{wind}} = \frac{1{,}3}{3{,}4}$ (opgemeten in tekening 2) $\Rightarrow F_{w,//} = \frac{1{,}3}{3{,}4} \cdot F_{wind} = \frac{1{,}3}{3{,}4} \cdot 450 = 1{,}7 \cdot 10^2$ N
Alleen als de boot met constante snelheid vaart, geldt: $|F_w| = |F_{w,//}| = 1{,}7 \cdot 10^2$ N
De snelheid v van de boot lezen we af in figuur 6: $v = 3{,}7$ m s^{-1}
In de opgave ontbreekt het gegeven dat de boot met constante snelheid vaart.

Een sprong bij volleybal

24 Tijdens de afzet geldt: $F_{res} = F_{afzet} - F_z = m \cdot a$ (Binas 35A3) $\Rightarrow$ $F_{afzet} = m \cdot a + F_z$, met:

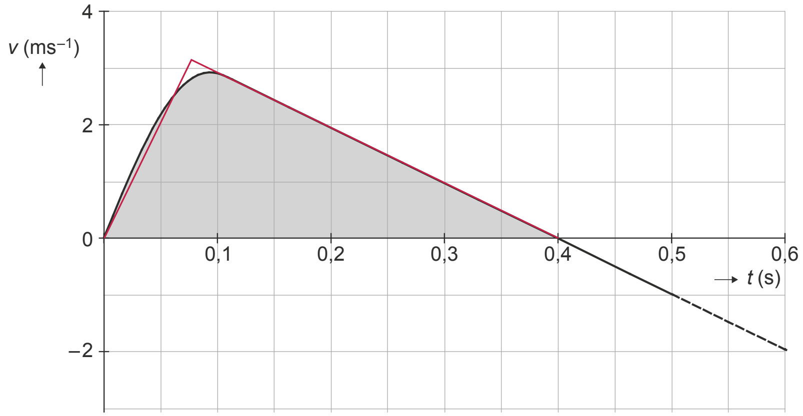
F_{res} = resulterende kracht op de volleyballer
F_{afzet} = maximale afzetkracht op de volleyballer
m = massa van de volleyballer = 75 kg
F_z = zwaartekracht op de volleyballer = $m \cdot g$ (Binas 35A3), waarin:
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
zodat: $F_z = 75 \cdot 9{,}81 = 7{,}36 \cdot 10^2$ N
a = maximale versnelling die de volleyballer tijdens de afzet ondervindt
We bepalen a uit het (*v,t*)-diagram op de bijlage door een raaklijn te trekken in het punt van de grafiek waar deze het steilst is. Dat is op $t = 0$ s.
Zie de ingetekende bijlage hieronder (tekening 1).
Er geldt: $a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{raaklijn} = \frac{4{,}00 - 0{,}00}{0{,}080 - 0{,}00} = 50$ m s^{-2}



tekening 1

Invullen: $F_{afzet} = 75 \cdot 50 + 7{,}36 \cdot 10^2 = 4{,}5 \cdot 10^3$ N (= 4,5 kN)

25 Tot op het moment dat het zwaartepunt van de springer het hoogste punt bereikt, is de snelheid *v* positief.
Op het hoogste punt geldt: $v = 0$ m s^{-1}. Dat is op $t = 0{,}40$ s (zie tekening 2).
Uit dit (*v,t*)-diagram is het hoogteverschil *h* van het zwaartepunt dus te berekenen door de oppervlakte onder de grafiek te bepalen van $t = 0{,}00$ s tot $t = 0{,}40$ s.
Deze oppervlakte komt overeen met de oppervlakte van de ingetekende driehoek.
Er geldt dus: $h = \frac{1}{2} \cdot 3{,}15 \cdot 0{,}40 = 0{,}63$ m



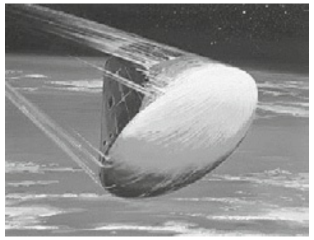
tekening 2

26 Tijdens het afzetten is de springer nog niet los van de grond en dus geldt: y < yB.
Voor y ≥ yB is Fafzet = 0.
De beschrijving van de sprong geldt tot op het moment, waarop het zwaartepunt zich in het hoogste punt bevindt (positie C). Op dat moment geldt voor de tweede maal: $v = 0$, terwijl *v* nu kleiner wordt. De beschrijving van de sprong eindigt dus als $v < 0$.
De regels waarin iets open gelaten is, luiden dan:
– als (y < yB) dan Fafzet = C * (yB – y)
  anders Fafzet = 0
– als (v < 0) dan stop

5 Energie en wisselwerking (domein C2)

Terug uit de ruimte

Lees onderstaand artikel.



Een bemande ruimtecapsule moet na terugkeer uit de ruimte in minder dan een half uur een zachte landing op aarde maken. Hierbij heeft men te maken met de gravitatiekracht en de wrijvingskracht van de atmosfeer. Om de wrijvingswarmte op te kunnen vangen, heeft men een hitteschild ontwikkeld met een grote luchtweerstandscoëfficiënt (de platte kant wijst naar voren), dat afbladdert bij hoge temperaturen.
Door de hoge temperaturen worden de luchtmoleculen rond de capsule geïoniseerd. Hierbij ontstaat een plasma van elektronen en positieve ionen dat EM-straling absorbeert. Tijdens de daling ondervindt de capsule daardoor een radio-black-out: het radiocontact met het grondstation valt een paar minuten weg.

De weg terug
De terugkerende ruimtecapsule met een massa $m = 5{,}8 \cdot 10^3$ kg, bevindt zich op $t = 0$ s op 500 km hoogte met baansnelheid van $7{,}5 \cdot 10^3$ ms^{-1}.

Op $t = 0$ s geldt voor de zwaarte-energie: $E_z = 0{,}927 \cdot mgh$.

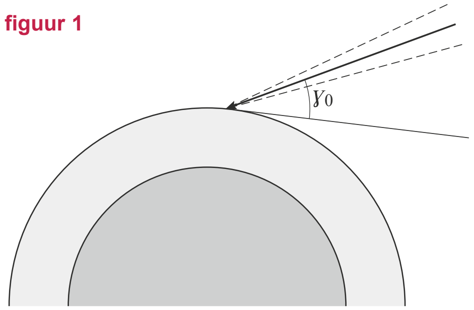
1 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan waarom de zwaarte-energie E_z op $t = 0$ s kleiner is dan berekend met de formule $E_z = mgh$.
- Hieronder staan vier ordes van grootte van de hoeveelheid energie die de capsule voor een veilige landing in de atmosfeer moet kwijtraken.

a 10^5 J	b 10^8 J	c 10^{11} J	d 10^{14} J

In welke orde van grootte ligt die hoeveelheid energie? Motiveer je keuze met een berekening.

Bij terugkeer in de atmosfeer mag de intreehoek γ maar weinig van de ideale intreehoek $\gamma_0 = 27°$ afwijken. Zie figuur 1.

figuur 1



Bij een onjuiste hoek ($\gamma < \gamma_0$ of $\gamma > \gamma_0$) kunnen de volgende problemen ontstaan:
I De capsule wordt te heet.
II De capsule komt met een te grote snelheid op de grond.
III De capsule ketst af tegen de atmosfeer.
IV De capsule doet te lang over de daling waardoor de landingsplaats niet nauwkeurig te bepalen is.
V De remkracht op de capsule en de bemanning is te groot.

2 Geef op de uitwerkbijlage aan welke oorzaak bij welk probleem hoort.

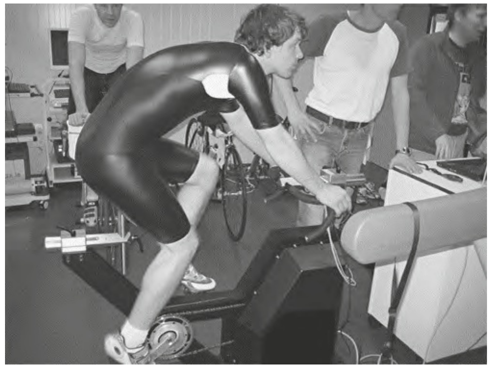
uitwerkbijlage bij vraag 2

	I te heet	II snelheid bij landing te groot	III ketst af tegen atmosfeer	IV daaltijd te groot	V remkracht te groot
$\gamma < \gamma_0$					
$\gamma > \gamma_0$					

Strategiebepaling bij wielrennen

Lees onderstaand artikel.

In de wielersport is het belangrijk om te weten hoe groot het vermogen is dat een wielrenner kan leveren en hoe lang hij dit vol kan houden. Hiermee kan een ploegleider in een wedstrijd de strategie bepalen.
Dit wordt onderzocht met behulp van een hometrainer met een meetsysteem. Hiermee wordt de kracht op de pedalen gemeten als functie van de tijd. Daaruit worden de arbeid en het vermogen van de wielrenner berekend.

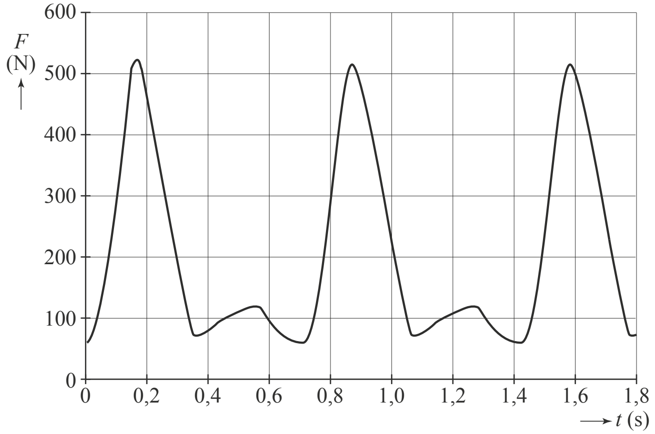


Wielrenner Alberto fietst op de hometrainer. Zijn schoenen zitten vastgeklikt aan de pedalen.
De afstand van het draaipunt van de crank tot de aanhechting van een pedaal bedraagt 17,5 cm. Zie figuur 1.

figuur 1

Het meetsysteem meet de component van de kracht van de voet loodrecht op de crank. De grootte van die component als functie van de tijd is in figuur 2 weergegeven.

figuur 2



Figuur 2 geldt voor **één** voet. Met zijn andere voet doet Alberto hetzelfde.

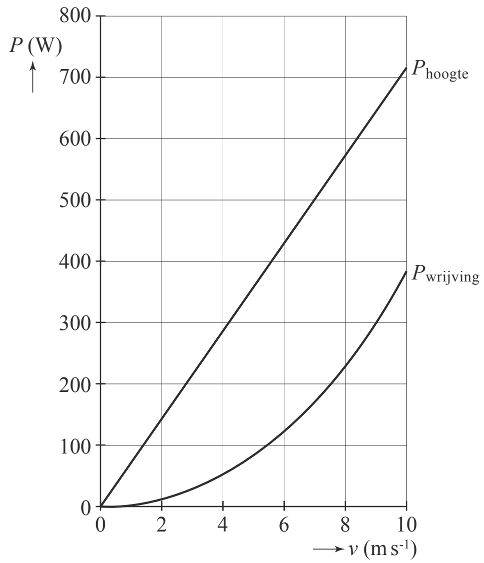
3 Bepaal het vermogen dat Alberto levert.
Hint: Schat de gemiddelde kracht in één omwenteling van één voet.

De gegevens uit het meetsysteem kan de ploegleider gebruiken om tijdens een wedstrijd de strategie te bepalen.
Uit de metingen is bekend dat Alberto zijn topvermogen van 0,60 kW gedurende 7,5 minuut kan volhouden. Hiermee kan de ploegleider bepalen op welke afstand van de top van de berg Alberto op zijn topvermogen moet gaan rijden.

Bij een wedstrijd staat er een etappe op het programma met de finish boven op een berg.
In figuur 3 is bij verschillende snelheden het vermogen van Alberto weergeven om de wrijving te overwinnen en om hoger te komen op deze berg.

4 Bepaal op welke afstand van de top van de berg Alberto op zijn topvermogen moet gaan rijden.

figuur 3



Zweefmolen

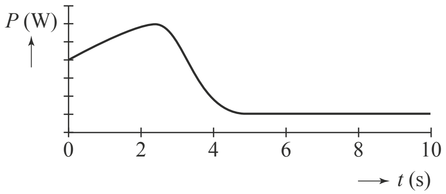
figuur 1

Jan ziet op de kermis in Deurne de attractie die afgebeeld is in figuur 1: een hoge mast met een zweefmolen.
Nadat de passagiers in de stoeltjes hebben plaatsgenomen, beweegt de zweefmolen eerst zonder te draaien langs de mast omhoog.
In 8,0 s gaat de zweefmolen 30 meter omhoog.
In de mast bevindt zich een contragewicht met een massa gelijk aan de totale massa van de zweefmolen zonder passagiers. Dit contragewicht is via een katrol boven in de mast verbonden met de zweefmolen en daalt met dezelfde snelheid als de verticale snelheid van de zweefmolen. Zo wordt energie bespaard. Voor de verticale verplaatsing wordt een elektromotor gebruikt met een rendement van 90%. Neem aan dat er 22 passagiers met een gemiddelde massa van 60 kg in de stoeltjes hebben plaatsgenomen.

5 Bereken het minimale elektrisch vermogen van deze elektromotor.

Na het omhooggaan begint de zweefmolen te draaien. Hiervoor wordt een tweede elektromotor gebruikt.
Op t = 0 s begint de zweefmolen te draaien en na 5 s draait hij met constante snelheid.
Het vermogen van de tweede elektromotor is uitgezet tegen de tijd in figuur 2.

figuur 2



6 Beantwoord de volgende vragen.
– Waarom is het vermogen vóór t = 5 s groter dan na t = 5 s?
– Waarom is het vermogen na t = 5 s niet gelijk aan 0 W?

Kingda Ka

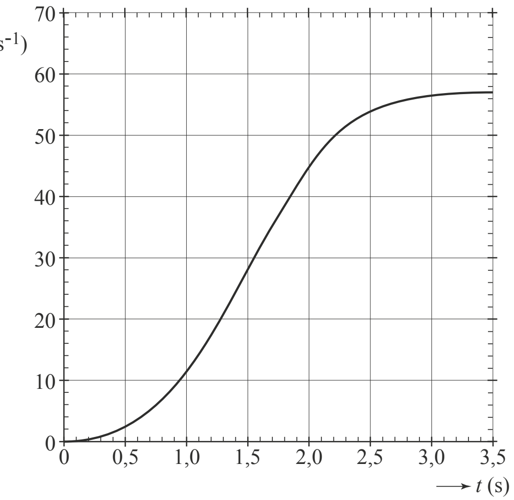
Lees het artikel.

Snelste achtbaan ter wereld geopend
New York. De hoogste en snelste achtbaan ter wereld gaat binnenkort open. Wie in de Kingda Ka stapt, maakt mee dat de trein in 3,5 seconde vanuit stilstand tot 205 km h^{-1} wordt versneld en daarna 139 m omhoog wordt gejaagd. Op het hoogste punt is de snelheid nog zo groot, dat de passagiers loskomen uit hun stoeltje en tegen de sluitbeugels worden gedrukt. Vervolgens stort de trein zich loodrecht in de diepte, waarna een tweede heuvel volgt. De hele rit duurt nog geen minuut.

naar: de Gelderlander, 21 mei 2005

Bij de start wordt de trein van de Kingda Ka op een horizontale baan versneld. In figuur 1 staat het (v,t)-diagram van de beweging op die horizontale baan.

figuur 1



Op de horizontale baan van de achtbaan zorgt een elektromotor voor de aandrijving van de trein met passagiers. De massa van de trein met passagiers bedraagt $3{,}1 \cdot 10^3$ kg.

7 Bepaal het gemiddelde vermogen dat de elektromotor gedurende de eerste 3,5 s minimaal moet leveren.

©ThiemeMeulenhoff

Aan het einde van de horizontale baan werkt er geen aandrijvende kracht meer. Het (zwaartepunt van het) treintje gaat daarna 139 m omhoog. Natuurlijk moet de trein wel de top halen. Een bepaald percentage van de bewegingsenergie wordt tijdens de rit naar boven omgezet in warmte ten gevolge van de wrijving.

8 Bereken hoe groot dit percentage maximaal mag zijn.

Fontein van Genève

In het Meer van Genève bevindt zich een van de grootste fonteinen ter wereld. Bij de fontein hangt een informatiebordje. De tekst op dit bordje staat, vertaald, weergegeven in figuur 1.

figuur 1

Fontein van Genève

Elke seconde wordt er 450 liter water de lucht in gestuwd tot een hoogte van 140 m.

Het water wordt met twee pompen door een spuitmond gespoten met een snelheid van 200 km/h. De twee elektrische pompen hebben elk een vermogen van 500 kW.

Na zonsondergang wordt de straal verlicht door een aantal lampen met een gezamenlijk vermogen van 13,5 kW.

Fontein in werking:
maandag tot vrijdag: 10.00 - zonsondergang
vrijdag tot en met zondag: 10.00 – 22.30 uur.

De twee elektrische pompen hebben elk een vermogen van 500 kW. Het water wordt met een snelheid van 200 km h^{-1} uit de spuitmond gespoten.

9 Bereken het rendement van de elektrische pompen. Neem hierbij voor de dichtheid van water 1,00 kg L^{-1}.

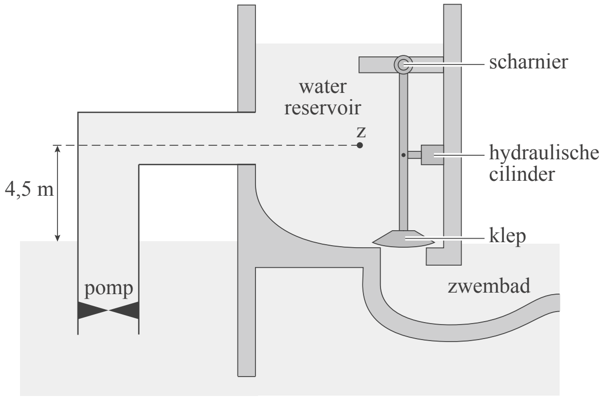
10 Toon met een berekening aan of het water de maximale hoogte die op het bordje staat kan halen.

©ThiemeMeulenhoff

Soliton-II

In Greensboro, Amerika, staat een bijzonder golfslagbad waar om de paar minuten één reusachtige golfberg, een soliton, gemaakt wordt. Om zo'n golfberg te maken wordt met een elektrische pomp water uit het zwembad in een waterreservoir gepompt. Zie figuur 1.

figuur 1



Tijdens het vullen van het reservoir wordt een watervolume van 341 m^3 in 136 s omhoog gepompt. Het zwaartepunt van het water in het reservoir komt daarbij 4,5 m boven het water in het zwembad te liggen.
De pomp heeft een elektrisch vermogen van 441 kW.
De verandering van het waterniveau in het zwembad is tijdens het pompen te verwaarlozen.

11 Bereken het rendement van de pomp.

Fietskar

Fietskar duwt fiets
Het is de omgekeerde wereld: normaal trekt een fietser zijn bagagekarretje voort, maar de fietskar die hiernaast te zien is, duwt de fiets. Deze is namelijk voorzien van een accu met twee elektromotoren en kan 220 liter bagage bergen. De maximale snelheid zonder te trappen bedraagt 40 km/h. Als de fietser niet trapt, bedraagt de actieradius 50 km bij een constante snelheid van 20 km/h. Een benzinemotor zou hier 10 centiliter benzine voor nodig gehad hebben. De fabrikant overweegt om de fietskar op zonne-energie te laten rijden door middel van zonnecellen op het deksel.

naar: Technisch Weekblad, 9 mei 2001

figuur 1

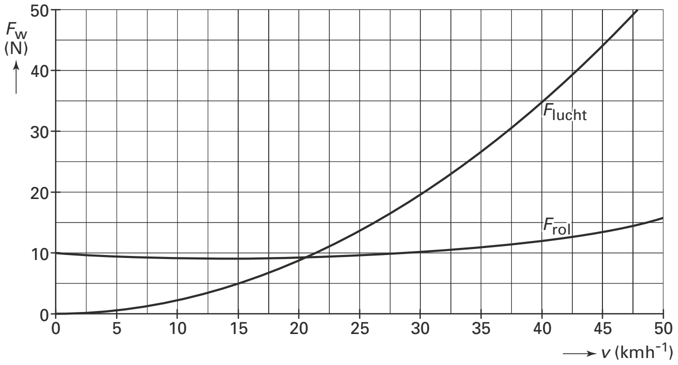
Lees de tekst bij figuur 1.

De massa van de fiets plus berijdster is 72 kg. De massa van de lege fietskar is 9,5 kg. De totale wrijvingskracht op de combinatie van fiets en kar is tijdens het optrekken tot 20 km h^{-1} gemiddeld 13 N. De versnelling tijdens het optrekken bedraagt 0,44 m s^{-2}.

12 Bereken hoeveel arbeid de elektromotoren van de fietskar verrichten bij het optrekken van 0 tot 20 km h^{-1}.

Figuur 2 toont de grafieken van de luchtwrijving F_{lucht} en de rolwrijving F_{rol} op de fiets met fietskar als functie van de snelheid.

figuur 2



Voor de luchtwrijving geldt: $F_{lucht} = kv^2$

Hierin is:
- v de snelheid in m s^{-1};
- k een constante in kg m^{-1}.

13 Bepaal met behulp van figuur 2 de waarde van de constante k.

De actieradius is de maximale afstand die door het voertuig met een volle accu afgelegd kan worden, als er niet wordt getrapt.
Aangenomen mag worden, dat de totale hoeveelheid energie die een volle accu kan leveren, bij elke snelheid hetzelfde is.

14 Bepaal met behulp van figuur 2 en de gegevens uit de tekst van figuur 1 de actieradius bij een constante snelheid van 40 km h^{-1}.

Jan-van-gent

figuur 1

De jan-van-gent is de grootste zeevogel van het Noordzeegebied. Zie figuur 1.
Hij leeft van vis, die hij door middel van een snelle duik vanuit de lucht uit het water haalt. Vanaf een hoogte van 30 m duikt hij daarbij zonder beginsnelheid loodrecht naar beneden en komt met een snelheid van ruim 100 km h^{-1} in het water terecht.

15 Toon aan dat deze snelheid in een vrije val over 30 m niet gehaald wordt.

Een jan-van-gent heeft een massa van 2,8 kg. Op het tijdstip t = 0 s versnelt hij zonder verticale beginsnelheid door middel van een krachtige vleugelslag loodrecht naar beneden. Behalve de zwaartekracht levert hij dus zelf een kracht.
Op t = 0,82 s is zijn snelheid 27 m s^{-1}.

16 Bereken de gemiddelde kracht die de jan-van-gent tijdens dit gedeelte van zijn duik levert.

Vanaf t = 0,82 s werkt alleen de zwaartekracht nog. De jan-van-gent bevindt zich op dat moment nog 28 m boven het water.

17 Bereken met behulp van energiebehoud met welke snelheid hij in het water terecht komt. Verwaarloos daarbij de luchtweerstand.

Hints bij hoofdstuk 5

1 Wat gebeurt er met de zwaartekracht op grotere afstand van de aarde?
Welke energieën moeten omgezet worden in warmte?

2 Wat gebeurt er met de snelheid van de capsule bij een te grote of een te kleine invalshoek γ?

3 Voor het vermogen P: zie Binas tabel 35A4.

4 Alberto heeft vermogen nodig om te stijgen en ook om de wrijving te overwinnen.

5 Bereken eerst het nuttig vermogen dat nodig is voor het omhoog brengen van de passagiers.

6 Welke energieomzettingen vinden er plaats vóór en na t = 5 s?

7 Wat is het verband tussen P_{gem}, ΔE_k en Δt?

8 Voor E_k en E_z: zie Binas 35A5.

9 Bereken de kinetische energie van het water dat per seconde door de spuitmond gaat.

10 Maak gebruik van de wet van behoud van energie.

11 Bereken de zwaarte-energie van het omhoog gepompte water.

12 Voor het berekenen van de arbeid: zie Binas tabel 35A4.

13 Lees voor een zelfgekozen waarde van F_{lucht} de snelheid af.

14 Bereken eerst de totale energie die een volle accu kan leveren bij v = 20 km h^{-1}.

15 Zie Binas tabel 35A4.

16 Gebruik de tweede wet van Newton.

17 Welke twee soorten energie heeft de jan-van-gent op t = 0,82 s?

Uitwerkingen bij hoofdstuk 5

Terug uit de ruimte

1 – De zwaarte-energie E_z op $t = 0$ s is kleiner dan $m \cdot g \cdot h$ (met $g = 9{,}81$ m s^{-2}), omdat de gravitatieversnelling op grotere hoogte afneemt.
– De ruimtecapsule moet vanaf 500 km hoogte (punt A) zowel kinetische energie $E_{k,A}$ als zwaarte-energie ($E_{z,A}$) omzetten in warmte Q. Op het aardoppervlak (punt B) mag er slechts een klein beetje kinetische energie overblijven, waarmee de capsule landt. Er geldt dus:

$Q = E_{z,A} + E_{k,A} - E_{k,B} = 0{,}927 \cdot m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2$ (Binas 35A4)

$= m \cdot (0{,}927 \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot (v_A^2 - v_B^2)) = m \cdot (0{,}927 \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot v_A^2)$, waarin:

m = massa van de ruimtecapsule = $5{,}8 \cdot 10^3$ kg
g = valversnelling op het aardoppervlak = $9{,}81$ m s^{-2} (Binas 7A)
h = hoogte die de ruimtecapsule op $t = 0$ s heeft = 500 km = $500 \cdot 10^3$ m
v_A = snelheid van de ruimtecapsule op 500 km hoogte = $7{,}5 \cdot 10^3$ m s^{-1}
v_B = maximale snelheid waarmee de ruimtecapsule mag landen (deze snelheid is ten opzichte van v_A verwaarloosbaar)

Invullen: $Q = 5{,}8 \cdot 10^3 \cdot \left(0{,}927 \cdot 9{,}81 \cdot 500 \cdot 10^3 + \frac{1}{2} \cdot (7{,}5 \cdot 10^3)^2\right) = 1{,}9 \cdot 10^{11}$ J

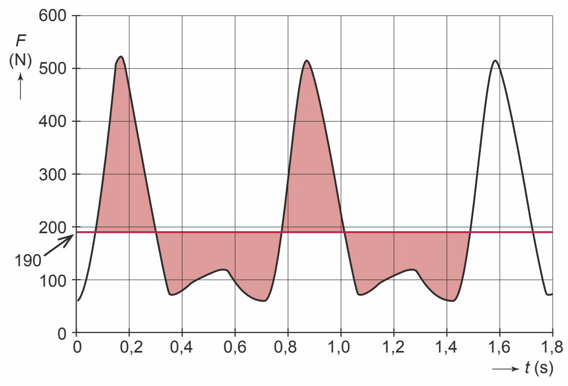
Dat is dus in de orde van grootte van 10^{11} J $\Rightarrow$ antwoord c

	I te heet	II snelheid bij landing te groot	III ketst af tegen atmosfeer	IV daaltijd te groot	V remkracht te groot
$\gamma < \gamma_0$			✕	✕	
$\gamma > \gamma_0$	✕	✕			✕

2 Zie de ingevulde uitwerkbijlage.
Voor $\gamma < \gamma_0$ komt de ruimtecapsule te weinig omlaag gericht in de dampkring. Dan is er een grotere kans dat hij afketst tegen de atmosfeer of dat de daaltijd te groot is.
Voor $\gamma > \gamma_0$ komt de ruimtecapsule te snel omlaag. Het gevolg daarvan is:
– *te veel hitte-ontwikkeling gedurende de daling*
– *te weinig afremming in de dampkring, waardoor de landingssnelheid te groot is*
– *te grote remkracht tijdens de daling*

Strategiebepaling bij wielrennen

3 Zie tekening 1.



tekening 1

methode 1
We bepalen het door Alberto geleverde vermogen P uit:
$P = 2 \cdot P_{1v} = 2 \cdot F \cdot v$ (Binas 35A4), waarin:
P_{1v} = vermogen dat één voet levert
F = gemiddelde kracht van één voet loodrecht op de crank = $= 1{,}9 \cdot 10^2$ N (zie tekening 1; er is een horizontale hulplijn getrokken bij $F = 190$ N)
v = omloopsnelheid van één voet = $= \frac{2\pi \cdot r}{T}$ (Binas 35A2), met:
r = baanstraal van de aanhechting van een voet = 17,5 cm = $17{,}5 \cdot 10^{-2}$ m
T = omlooptijd = 0,71 s (afgelezen in figuur 2)
zodat: $v = \frac{2\pi \cdot 17{,}5 \cdot 10^{-2}}{0{,}71} = 1{,}55$ m s^{-1}

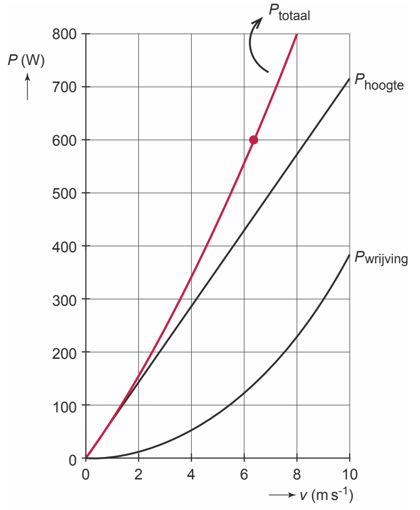
Invullen: $P = 2 \cdot 1{,}9 \cdot 10^2 \cdot 1{,}55 = 5{,}9 \cdot 10^2$ W

methode 2
We bepalen het vermogen P dat Alberto levert uit: $P = 2 \cdot P_{1v} = 2 \cdot \frac{W_{1v}}{t}$ (Binas 35A4), waarin:
P_{1v} = vermogen dat één voet levert
W_{1v} = arbeid die één voet verricht per omwenteling = $F \cdot s$ (Binas 35A4), met:
F = gemiddelde kracht van één voet loodrecht op de crank = $1{,}9 \cdot 10^2$ N (zie tekening 1; er is een horizontale hulplijn getrokken bij $F = 190$ N)
s = weg die de aanhechting van de voet aflegt gedurende één omwenteling = $= 2\pi \cdot r$ (Binas 36B) $= 2\pi \cdot 17{,}5 \cdot 10^{-2}$ m = 1,10 m
zodat: $W_{1v} = 1{,}9 \cdot 10^2 \cdot 1{,}10$ W $= 2{,}09 \cdot 10^2$ W
t = omlooptijd van één voet = 0,71 s (afgelezen in figuur 2)

Invullen: $P = 2 \cdot \frac{2{,}09 \cdot 10^2}{0{,}71} = 5{,}9 \cdot 10^2$ W

4 De afstand s van de top, waarop Alberto op vol vermogen moet gaan rijden, volgt uit:
$s = v \cdot t$ (Binas 35A1), waarin:
v = snelheid waarbij hij zijn topvermogen levert
Bepaling van v:
Zie tekening 2 (de ingetekende figuur 3).
Alberto rijdt op zijn topvermogen als $P_{totaal} = P_{wrijving} + P_{hoogte} = 0{,}60$ kW $= 6{,}0 \cdot 10^2$ W
In tekening 2 is P_{totaal} geschetst.
Aflezen bij $P_{totaal} = 6{,}0 \cdot 10^2$ W $\Rightarrow$
$\Rightarrow v = 6{,}5$ m s^{-1}
t = maximale tijdsduur die Alberto op topvermogen kan rijden = 7,5 min = $= 7{,}5 \cdot 60$ s = 450 s

Invullen: $s = 6{,}5 \cdot 450 = 2{,}9 \cdot 10^3$ m (= 2,9 km)



tekening 2

Zweefmolen

5 Voor het minimale elektrisch vermogen P_{in} van deze elektromotor geldt:

$\eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{P_{nuttig}}{\eta}$ (Binas 35A4), waarin:

η = rendement van de elektromotor = 90%

P_{nuttig} = vermogen dat nodig is voor het omhoog brengen

Er geldt: $P_{nuttig} = \frac{E_z}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$ (Binas 35A4), met:

E_z = zwaarte-energie van de passagiers

m = massa van de passagiers = 22 · 60 = $1{,}32 \cdot 10^3$ kg (de massa van de lege zweefmolen wordt gecompenseerd door het contragewicht)

g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)

h = afstand waarover de zweefmolen omhoog gaat = 30 m

t = tijd die nodig is om de zweefmolen omhoog te brengen = 8,0 s

zodat: $P_{nuttig} = \frac{1{,}32 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 30}{8{,}0} = 4{,}86 \cdot 10^4$ W

Invullen: $P_{in} = \frac{4{,}86 \cdot 10^4}{0{,}90} = 5{,}4 \cdot 10^4$ W

P_{nuttig} kan ook worden bepaald met: $P_{nuttig} = F \cdot v = m \cdot g \cdot \frac{h}{t}$ (Binas 35A4 en 35A1)

6
- Vóór t = 5 s wordt het vermogen van de elektromotor gebruikt om de passagiers en de zweefmolen de kinetische energie te geven van de ronddraaiende beweging. Na t = 5 s is dat niet meer nodig.
- Na t = 5 s blijft de snelheid van de ronddraaiende zweefmolen constant. Na dit tijdstip wordt het vermogen van de elektromotor dus alleen gebruikt om de wrijving te compenseren.

Kingda Ka

7 Voor het gemiddelde vermogen P_{gem} dat de elektromotor in de eerste 3,5 s minimaal moet leveren, geldt:

$P_{gem} = \frac{\Delta E_k}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2}{\Delta t}$ (Binas 35A5), waarin:

ΔE_k = toename van de kinetische energie van de trein

Δt = tijdsinterval = 3,5 s

m = massa van de trein met passagiers = $3{,}1 \cdot 10^3$ kg

v_2 = snelheid na 3,5 s. Deze is 57 m s^{-1} (afgelezen in figuur 1)

v_1 = beginsnelheid = 0

Invullen: $P_{gem} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 3{,}1 \cdot 10^3 \cdot 57^2 - 0}{3{,}5} = 1{,}4 \cdot 10^6$ W

©ThiemeMeulenhoff

8 *methode 1*

Bij het omhoog gaan van de trein wordt bewegingsenergie (E_k) omgezet in zwaarte-energie (E_z) en warmte (Q). Voor de maximale hoeveelheid warmte Q_{max} die mag vrijkomen, geldt: $E_k = E_{z,top} + Q_{max} \Rightarrow Q_{max} = E_k - E_{z,top}$, waarin:

$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A5), met:

m = massa van de trein met passagiers = $3{,}1 \cdot 10^3$ kg

v = snelheid van de trein vlak voordat deze omhoog beweegt = 57 m s^{-1} (zie figuur 1)

zodat: $E_k = \frac{1}{2} \cdot 3{,}1 \cdot 10^3 \cdot 57^2 = 5{,}04 \cdot 10^6$ J

$E_{z,top}$ = zwaarte-energie van de trein in het hoogste punt = $m \cdot g \cdot h$ (Binas 35A5), met:

g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)

h = stijghoogte = 139 m

zodat: $E_z = 3{,}1 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 139 = 4{,}23 \cdot 10^6$ J

Invullen: $Q_{max} = 5{,}04 \cdot 10^6 - 4{,}23 \cdot 10^6 = 0{,}81 \cdot 10^6$ J

Er mag dus tijdens het traject omhoog hoogstens $0{,}81 \cdot 10^6$ J worden omgezet in warmte.

Van de oorspronkelijke bewegingsenergie is dat $\frac{0{,}81 \cdot 10^6}{5{,}04 \cdot 10^6} \cdot 100\% = 16\%$

methode 2

Bij het omhoog gaan van de trein wordt bewegingsenergie (E_k) omgezet in zwaarte-energie (E_z) en warmte. Voor het percentage van de bewegingsenergie dat moet worden omgezet in zwaarte-energie geldt:

$$\text{percentage} = \frac{E_z}{E_k} \cdot 100\% = \frac{m \cdot g \cdot h}{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot g \cdot h}{v^2} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot 9{,}81 \cdot 139}{57^2} \cdot 100\% = 84\%$$

Er mag dus maximaal 100 – 84 = 16% van de bewegingsenergie worden omgezet in warmte.

Fontein van Genève

9 Voor het rendement η van de elektrische pompen geldt:

$\eta = \frac{E_k}{E_{pompen}} \cdot 100\%$ (Binas 35A4), waarin:

E_k = kinetische energie van het water dat per seconde door de spuitmond gaat

$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4) $= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2$ (Binas 35C1), met:

m = massa van het water dat per seconde door de spuitmond gaat

v = snelheid waarmee het water uit de spuitmond spuit = 200 km h^{-1} =

$= \frac{200 \cdot 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 55{,}56$ m s^{-1}

ρ = dichtheid van water = 1,00 kg L^{-1}

V = volume van het water dat per seconde door de spuitmond gaat = 450 L

zodat: $E_k = \frac{1}{2} \cdot 1{,}00 \cdot 450 \cdot (55{,}56)^2 = 6{,}95 \cdot 10^5$ J

E_{pompen} = energie die de twee pompen samen per seconde leveren = $= P \cdot t$ (Binas 35D1), met:

P = vermogen van de twee pompen samen = 2 · 500 = 1000 kW = $1000 \cdot 10^3$ W

t = tijdsduur = 1,00 s

zodat: $E_{pompen} = 1000 \cdot 10^3 \cdot 1{,}00 = 1000 \cdot 10^3$ J

Invullen: $\eta = \frac{6{,}95 \cdot 10^5}{1000 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 69{,}5\ \%$

©ThiemeMeulenhoff

10 *methode 1*
Als we geen rekening houden met de wrijving die het water van de lucht ondervindt, geldt voor de maximale hoogte h die het water kan bereiken:

$E_k = E_z \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$ (Binas 35A4) $\Rightarrow h = \frac{v^2}{2 \cdot g}$, waarin:

E_k = kinetische energie van het water met massa m in de spuitmond
E_z = zwaarte-energie van het water met massa m in het hoogste punt
v = snelheid waarmee het water uit de spuitmond wordt gespoten =
$= 200 \text{ km h}^{-1} = \frac{200 \cdot 10^3}{3600} \text{ m s}^{-1} = 55{,}56 \text{ m s}^{-1}$
g = valversnelling = $9{,}81 \text{ m s}^{-2}$ (Binas 7A)

Invullen: $h = \frac{(55{,}56)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 157 \text{ m}$

Het water zou de maximale hoogte van 140 m dus kunnen halen.

methode 2
We berekenen de minimale snelheid v waarmee het water de spuitmond moet verlaten om de hoogte h van 140 m te bereiken.
Hierbij houden we opnieuw geen rekening met de wrijving. Dan geldt:

$E_k = E_z \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$ (Binas 35A4) $\Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$, waarin:

E_k = minimaal benodigde kinetische energie van het water in de spuitmond
E_z = zwaarte-energie van het water in het hoogste punt
g = valversnelling = $9{,}81 \text{ m s}^{-2}$ (Binas 7A)
h = 140 m

Invullen: $v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 140} = 52{,}4 \text{ m s}^{-1} = \frac{52{,}4 \cdot 3600 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{52{,}4 \cdot 3{,}6 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 189 \text{ km h}^{-1}$

Dit is minder dan 200 km h^{-1}, dus het water zou de maximale hoogte van 140 m kunnen halen.

Soliton-II

11 Voor het rendement η van de pomp geldt: $\eta = \frac{E_z}{E_{el}} \cdot 100\%$ (Binas 35A4), waarin:

E_z = zwaarte-energie van het omhoog gepompte water =
$= m \cdot g \cdot h = \rho \cdot V \cdot g \cdot h$ (Binas 35A4 en 35C1), met:
m = massa van het omhoog gepompte water
g = valversnelling = $9{,}81 \text{ m s}^{-2}$ (Binas 7A)
h = hoogte van het zwaartepunt Z van het water in het reservoir ten opzichte van het waterniveau in het zwembad = 4,5 m
ρ = dichtheid van water = $0{,}998 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ (Binas 11)
V = volume van het water in het reservoir = 341 m^3
zodat: $E_z = 0{,}998 \cdot 10^3 \cdot 341 \cdot 9{,}81 \cdot 4{,}5 = 1{,}50 \cdot 10^7$ J
E_{el} = toegevoerde elektrische energie van de pomp = $P_{el} \cdot t$ (Binas 35D1), met:
P_{el} = elektrisch vermogen van de pomp = 441 kW = $441 \cdot 10^3$ W
t = benodigde tijd = 136 s
zodat: $E_{el} = 441 \cdot 10^3 \cdot 136 = 6{,}00 \cdot 10^7$ J

Invullen: $\eta = \frac{1{,}50 \cdot 10^7}{6{,}00 \cdot 10^7} \cdot 100\% = 25\%$

Fietskar

12 *methode 1*
De arbeid W_m die de elektromotoren bij het optrekken moeten verrichten, volgt uit:
$W_m = \Delta E_k + W_w$ (Binas 35A4), waarin:
ΔE_k = toename van de kinetische energie = $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4), waarin:
m = massa van de fiets plus berijdster plus lege fietskar = 72 + 9,5 = 81,5 kg
v = snelheid na het optrekken = 20 km h^{-1} = 5,56 m s^{-1}
zodat: $\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot 81{,}5 \cdot (5{,}56)^2 = 1{,}26 \cdot 10^3$ J
W_w = benodigde arbeid voor de wrijving = $F_w \cdot s$ (Binas 35A4), waarin:
F_w = gemiddelde wrijvingskracht = 13 N
s = verplaatsing tijdens het optrekken = 35 m
zodat: $W_w = 13 \cdot 35 = 455$ J

Invullen: $W_m = 1{,}26 \cdot 10^3 + 455 = 1{,}7 \cdot 10^3$ J

methode 2
De arbeid W_m die de elektromotoren bij het optrekken moeten verrichten, berekenen we met: $W_m = F_m \cdot s$ (Binas 35A4) $= (F_{res} + F_w) \cdot s$, waarin:
F_m = kracht die de elektromotoren tijdens het optrekken moeten leveren
F_{res} = resulterende kracht op de fiets = $m \cdot a$ (Binas 35A3), met:
m = massa van de fiets plus berijdster plus lege fietskar = 72 + 9,5 = 81,5 kg
a = versnelling van de fiets tijdens het optrekken = 0,44 m s^{-2}
zodat: $F_{res} = 81{,}5 \cdot 0{,}44 = 35{,}9$ N
F_w = gemiddelde wrijvingskracht = 13 N
s = verplaatsing tijdens het optrekken = 35 m

Invullen: $W_m = (35{,}9 + 13) \cdot 35 = 1{,}7 \cdot 10^3$ J

13 De waarde van de constante k volgt uit: $F_{lucht} = k \cdot v^2 \Rightarrow k = \frac{F_{lucht}}{v^2}$, waarin:
F_{lucht} = luchtwrijving
Kies bijvoorbeeld $F_{lucht} = 35$ N
v = hierbij behorende snelheid van fiets met kar = 40 km h^{-1} =
$= 40 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 11{,}1 \text{ m s}^{-1}$ (afgelezen in figuur 2)

Invullen: $k = \frac{35}{11{,}1^2} = 0{,}28 \text{ kg m}^{-1}$

14 De totale hoeveelheid energie E die een volle accu kan leveren, berekenen we met:
$E = F_{w,20} \cdot s_{20} = (F_{l,20} + F_{r,20}) \cdot s_{20}$ (Binas 35A4), waarin:
$F_{w,20}$ = totale wrijvingskracht bij een snelheid van 20 km h^{-1}
$F_{l,20}$ = luchtwrijving bij een snelheid van 20 km h^{-1} = 8,5 N (afgelezen in figuur 2)
$F_{r,20}$ = rolwrijving bij een snelheid van 20 km h^{-1} = 9,0 N (afgelezen in figuur 2)
s_{20} = actieradius bij een snelheid van 20 km h^{-1} = 50 km (zie tekst van figuur 1)
$= 50 \cdot 10^3$ m
zodat: $E = (8{,}5 + 9{,}0) \cdot 50 \cdot 10^3 = 8{,}75 \cdot 10^5$ J
De actieradius s_{40} bij een snelheid van 40 km h^{-1} berekenen we nu met:

$E = F_{w,40} \cdot s_{40} = (F_{l,40} + F_{r,40}) \cdot s_{40}$ (Binas 35A4) $\Rightarrow s_{40} = \frac{E}{(F_{l,40} + F_{r,40})}$, met:

E = $8{,}75 \cdot 10^5$ J
$F_{w,40}$ = totale wrijvingskracht bij een snelheid van 40 km h^{-1}
$F_{l,40}$ = luchtwrijving bij een snelheid van 40 km h^{-1} = 35 N (afgelezen in figuur 2)
$F_{r,40}$ = rolwrijving bij een snelheid van 40 km h^{-1} = 12 N (afgelezen in figuur 2)

Invullen: $s_{40} = \frac{8{,}75 \cdot 10^5}{35 + 12} = 19 \cdot 10^3 \text{ m} = 19 \text{ km}$

Jan-van-gent

15 We berekenen de snelheid v na een vrije val over 30 m met de wet van behoud van energie:

$E_{z,boven} = E_{k,beneden} \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ (Binas 35A4), waarin:

$E_{z,boven}$ = zwaarte-energie op een hoogte van 30 m
$E_{k,beneden}$ = kinetische energie na een vrije val van 30 m
m = massa van de jan-van-gent
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
h = valhoogte = 30 m

Invullen: $v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 30} = 24{,}3$ m s^{-1} = 24,3 · 3,6 km h^{-1} = 87 km h^{-1}
Dit is minder dan de 100 km h^{-1} die de jan-van-gent haalt.

16 Voor de gemiddelde kracht $F_{vleugel}$ die de jan-van-gent zelf levert tijdens de duik in de lucht, geldt:

$\Sigma F = F_{vleugel} + F_z = m \cdot a \Rightarrow F_{vleugel} = m \cdot a - F_z$ (Binas 35A3), waarin:

ΣF = totale kracht op de jan-van-gent
F_z = zwaartekracht op de jan-van-gent = $m \cdot g$ (Binas 35A3), met:
  m = massa jan-van-gent = 2,8 kg
  g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
  zodat: $F_z = 2{,}8 \cdot 9{,}81 = 27{,}5$ N
a = versnelling = $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ (Binas 35A1), met:
  Δv = snelheidstoename = 27 m s^{-1}
  Δt = tijdsduur van dit gedeelte van de duik = 0,82 s
  zodat: $a = \frac{27}{0{,}82} = 32{,}9$ m s^{-2}

Invullen: $F_{vleugel} = 2{,}8 \cdot 32{,}9 - 27{,}5 = 65$ N

17 De snelheid v waarmee de jan-van-gent in het water terecht komt, berekenen we met de wet van behoud van energie:

$E_{kin,beneden} = E_{kin,boven} + E_{z,boven} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{boven}^2 + m \cdot g \cdot h$ (Binas 35A4) $\Rightarrow$
$\Rightarrow \frac{1}{2} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot v_{boven}^2 + g \cdot h$, waarin:

$E_{kin,beneden}$ = kinetische energie van de jan-van-gent bij bereiken van het water
$E_{kin,boven}$ = kinetische energie op $t = 0{,}82$ s (op $h = 28$ m)
$E_{z,boven}$ = zwaarte-energie op hoogte $h = 28$ m
m = massa van de jan-van-gent
v_{boven} = snelheid die de jan-van-gent op $t = 0{,}82$ s heeft = 27 m s^{-1}
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
h = hoogte op $t = 0{,}82$ s van de jan-van-gent = 28 m

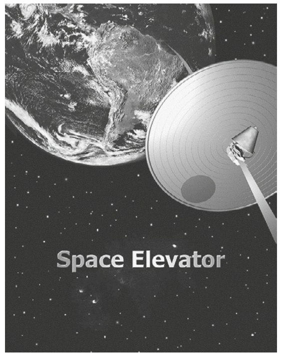
Invullen: $\frac{1}{2} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 27^2 + 9{,}81 \cdot 28 = 639{,}2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot 639{,}2} = 36$ m s^{-1}

6 Gravitatie (domein C3)

Ruimtelift?

Lees onderstaand artikel.

Ruimtelift?
Wetenschappers van de TU-Delft en ESA (European Space Agency) in Noordwijk hebben modelstudies uitgevoerd naar de haalbaarheid van een zogenaamde Ruimtelift naar geostationaire satellieten.

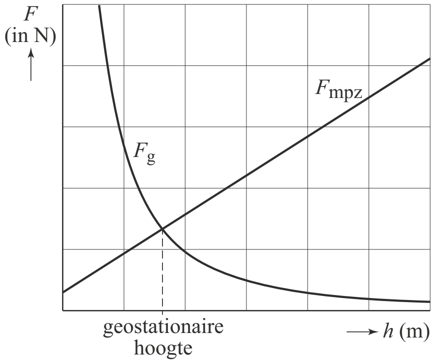


Geostationaire satellieten bevinden zich namelijk op een vaste plaats boven de evenaar vanaf de aarde gezien. Een kabel tussen de aarde en een geostationaire satelliet kan niet, omdat de satelliet dan door de kabel naar beneden getrokken wordt. Maar zou een langere kabel met een contragewicht wel kunnen?
Hierover gaat de haalbaarheidsstudie naar de '**ruimtelift**': langs een lange kabel duizenden kilometers omhoog klimmen. Wat je nodig hebt is een strakke kabel en een slimme manier van klimmen.

kabel

In figuur 1 is de gravitatiekracht op een voorwerp als functie van de hoogte boven het aardoppervlak weergegeven. Ook is de middelpuntzoekende kracht weergegeven die nodig is voor dat voorwerp als het beweegt met dezelfde omlooptijd als de aarde.

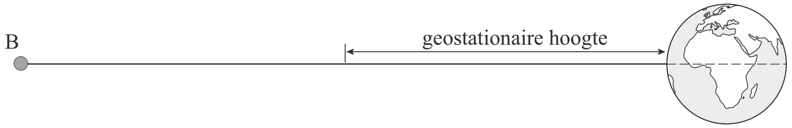
figuur 1



1 Bereken de geostationaire hoogte.

De modelstudie gaat uit van een kabel, die veel langer is dan de geostationaire hoogte, met daaraan een grote massa B die met de aarde meedraait. Zie figuur 2.

figuur 2



In dat geval staat de kabel strak gespannen.
2 Leg dat uit met behulp van figuur 1 en figuur 2.

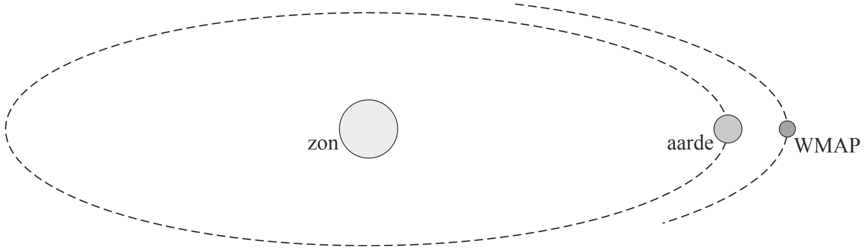
WMAP-I

In 2001 werd de satelliet genaamd WMAP gelanceerd die tot taak had nauwkeurige metingen van de kosmische achtergrondstraling te verrichten (WMAP = Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Zie figuur 1.

figuur 1

WMAP is gestationeerd in het zogenoemde Lagrangepunt 2; dat punt bevindt zich aan de zijde van de aarde die niet door de zon verlicht wordt op 1,5 miljoen kilometer afstand van de aarde. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.

figuur 2



Een satelliet die zich in het Lagrangepunt 2 bevindt, gedraagt zich niet als een ‘kunstmaan’ die rond de aarde cirkelt, maar draait met de aarde mee om de zon.
De zon, de aarde en WMAP bevinden zich steeds op één lijn.
Om dit meedraaien te bereiken moet op WMAP (massa 840 kg) een resulterende kracht werken ter grootte van 5,0 N.

3 Toon dat aan.

WMAP ondervindt een gravitatiekracht van de aarde en een gravitatiekracht van de zon. Die krachten leveren samen de resulterende kracht van 5,0 N.

4 Ga na welke van de twee gravitatiekrachten hieraan de grootste bijdrage levert.

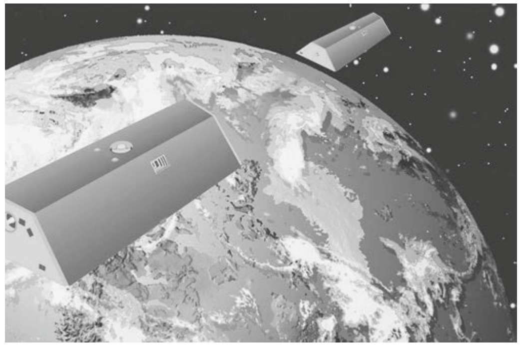
GRACE

Lees het volgende artikel.

De valversnelling is niet overal gelijk.

De valversnelling is niet overal op aarde precies gelijk. Dit kan een gevolg zijn van de draaiing en de afplatting van de aarde, maar ook van specifieke eigenschappen van de aardkorst. Bergen, zware gesteenten of olievelden veroorzaken **permanente** afwijkingen in de plaatselijke zwaartekracht.
Aardverschuivingen, getijdenwerkingen en het smelten van poolkappen leveren daarentegen **tijdelijke** afwijkingen op.
Om dit alles te kunnen meten, zijn twee identieke satellieten gelanceerd: GRACE A en GRACE B. Zie figuur 1.

figuur 1



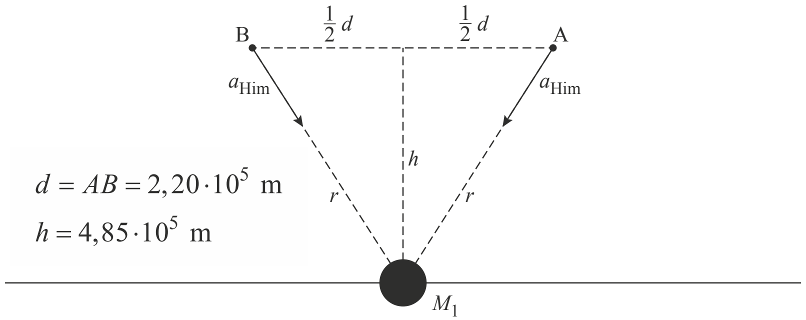
De twee satellieten draaien achter elkaar aan om de aarde op een hoogte van 485 km met een onderlinge afstand van 220 km. Kleine afwijkingen in de gravitatiekracht beïnvoeden de onderlinge afstand tussen de satellieten.

De satellieten leggen per etmaal ongeveer 15 rondjes om de aarde af.

5 Toon dit aan.
Hint: Bereken daartoe eerst de omlooptijd van de satellieten.

Op een gegeven moment bewegen de twee GRACE satellieten over de Himalaya. Zie figuur 2. De Himalaya wordt hierin aangegeven als een massa M_1. In de getekende positie ondervinden beide satellieten elk een (zeer kleine) extra versnelling a_{Him} door de gravitatiekracht van M_1.

figuur 2

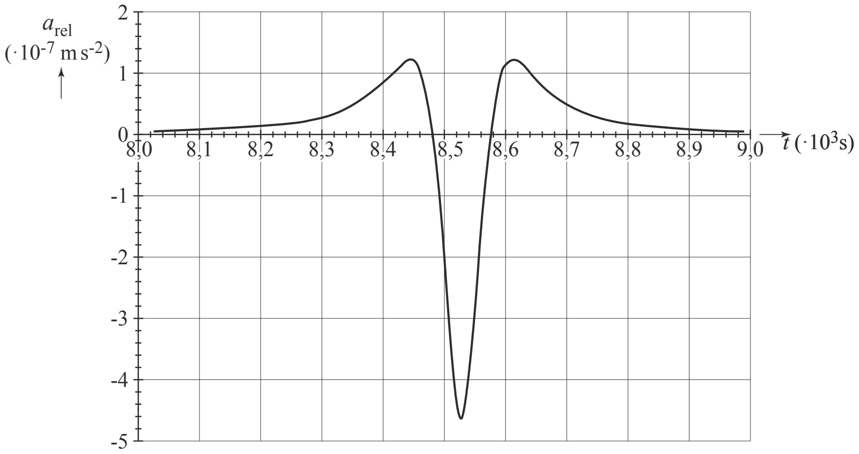


Voor de grootte van de onderlinge versnelling geldt: $a_{rel} = GM_1 \dfrac{d}{r^3}$.

6 Voer de volgende opdrachten uit voor de gegeven situatie:
- Leg uit dat de onderlinge versnelling alleen door de horizontale componenten van a_{Him} bepaald wordt.
- Beredeneer op grond van de vectorrichtingen of de twee satellieten op dit moment naar elkaar toe of van elkaar af versneld worden.
- Leid af dat geldt: $a_{rel} = GM_1 \dfrac{d}{r^3}$.

In figuur 3 is de onderlinge versnelling a_{rel} tijdens de beweging over de Himalaya weergegeven als functie van de tijd.

figuur 3

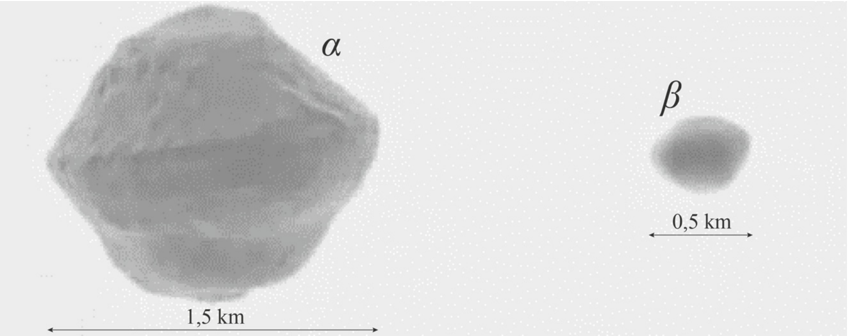


7 Bepaal op grond van figuur 3 de massa M_1.

Dubbel-planetoïde 1999 KW4

Planetoïden, soms ook asteroïden genoemd, zijn brokstukken die zich net als planeten in een baan om de zon bewegen. Hun doorsnede varieert van veel minder dan 1 km tot zo'n 1000 km.
De titel van deze opgave verwijst naar de dubbel-planetoïde die, voor zover nu bekend, het dichtste bij de zon komt.
Uit radarbeelden blijkt dat deze dubbel-planetoïde uit twee brokstukken bestaat die om elkaar heen draaien. De grote wordt α genoemd, de kleine β. Zie figuur 1.

figuur 1



In het onderstaande kader zijn een aantal onderzoeksgegevens over 1999 KW4 te vinden.

- De massa van α is $2{,}6 \cdot 10^{12}$ kg.
- De (maximale) diameter van α is 1,5 km.
- De (maximale) diameter van β is 0,5 km.
- De omlooptijd van β om α is 17,4 uur.
- De gravitatieversnelling op de evenaar van α is $4{,}3 \cdot 10^{-4}$ ms^{-2}.
- De rotatietijd van α (de tijd waarin hij om zijn as draait) is 2,5 uur.

Sommige hemellichamen blijken voornamelijk uit ijzer te bestaan.
8 Ga met behulp van een schatting na of dat voor α aannemelijk is.

De benodigde middelpuntzoekende kracht om β in zijn baan om α te houden, wordt geleverd door de gravitatiekracht.

Voor de omlooptijd T van β geldt de wet van Kepler: $\dfrac{GM}{4\pi^2} = \dfrac{r^3}{T^2}$

Hierin is:
- M de massa van α;
- r de afstand tussen α en β;
- T de omlooptijd.

De massa van α die in het kader staat, is berekend met de wet van Kepler uit de waargenomen afstand tussen α en β.
9 Bereken hoe groot de afstand tussen α en β is.

De wetenschapsjournalist Karel Knip schrijft in het NRC-Handelsblad dat α bij deze rotatietijd net niet "uit elkaar spat".
Bij een kleinere rotatietijd zou dat net wel gebeuren. Bij die rotatietijd T_{rot} zouden losliggende stenen op de evenaar niet blijven liggen.

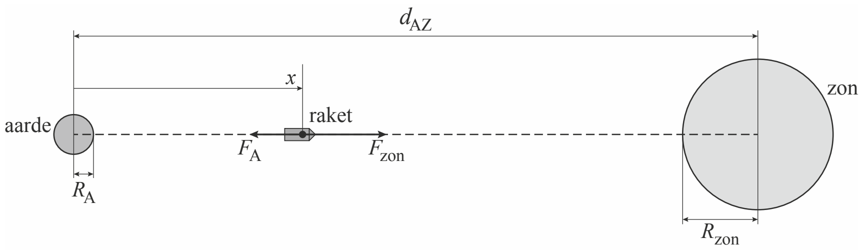
10 Bereken rotatietijd T_{rot}.

Reis naar de zon

De straling van de zon is vanaf de aarde te onderzoeken. Vanaf de oudheid hebben onderzoekers dat ook gedaan met het blote oog of met behulp van optische telescopen. Maar om meer te weten te komen over energiestromen en elektromagnetische velden in de corona, lanceren wetenschappers onderzoeksraketten die zo dicht mogelijk bij de zon komen.

Rond 1950 gingen de eerste onderzoeksraketten (ongeveer) in een rechte lijn naar de zon zoals weergegeven in figuur 1.

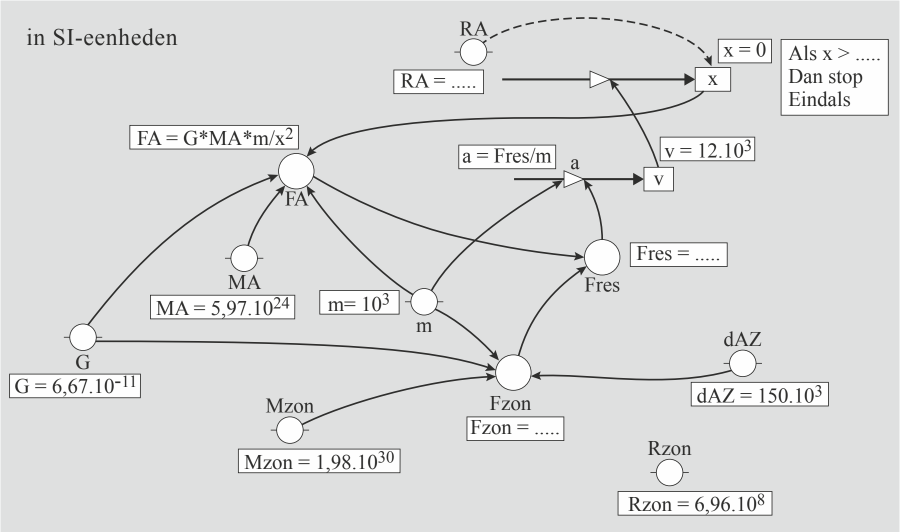
figuur 1



Met een rekenkundig model kan men uitzoeken hoe lang zo'n rechtstreekse reis duurt. Met het model kan men ook kijken hoeveel tijd er is om bepaalde metingen te doen, voordat de raket de zon bereikt.
In figuur 2 staat zo'n rekenkundig model, zowel in de tekstvariant als de grafische variant. (Je mag kiezen welke variant je gebruikt.)

figuur 2

model	startwaarden eenheden in SI
FA = G*MA*m/x^2	G = 6,67E-11
Fzon = ……………	RA = ……………
Fres = ……………	Rzon = 6,96E8
a = Fres/m	dAZ = 150E9
= x + v*dt	MA = 5,97E24
v = v + a*dt	Mzon = 1,989E30
t = t + dt	t = 0
tdag = t/(3600*24)	dt = 10
Als x > ………………	v = 12E3
Dan stop	x = RA
Eindals	m = 1E3



De startwaarde van de snelheid v in dit model is niet gelijk aan nul.

11 Leg uit waarom deze startwaarde in deze situatie niet gelijk aan nul kan zijn.

In het model is in een aantal regels een gedeelte weggelaten.

12 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de waarde van R_A.
- Vul de modelregels voor F_{zon} en F_{res} aan.
- Vul de stopvoorwaarde ('Als x > …… Dan stop') aan.

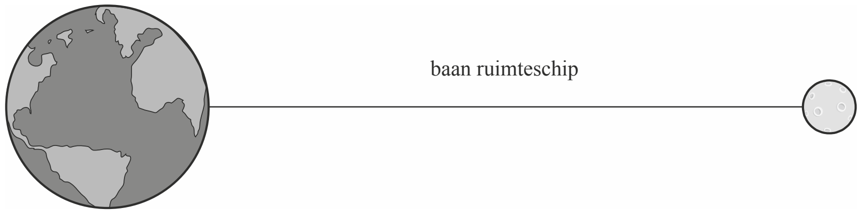
Maanrobotjes

Sinds astronaut Jack Schmidt in 1972 de maan verliet, zijn er geen mensen meer op de maan geweest. De Nederlandse Nobelprijswinnaar Gerard 't Hooft denkt dat dit op korte termijn ook niet meer zal gebeuren. In zijn boek 'Playing with planets' beschrijft hij een plan om de maan te koloniseren met behulp van minirobotjes.
Zie figuur 1. Zo'n maanrobotje is voorzien van een camera en kan via internet bestuurd worden. Iedereen kan zo zelf via internet de maan verkennen.

figuur 1

Een ruimtevaartorganisatie als de NASA of de ESA zou een ruimteschip naar de maan kunnen sturen om de maanrobotjes af te leveren.
Daarbij kan gebruik worden gemaakt van een methode waarbij een ruimteschip rechtstreeks van de aarde naar de maan vliegt. Zie figuur 2.

figuur 2

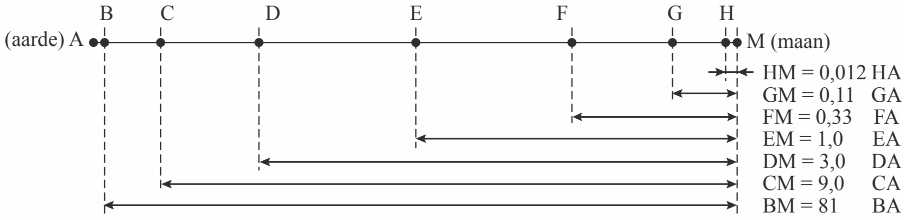


Voor de lancering van zo'n ruimteschip wordt gebruik gemaakt van een stuwraket. Nadat de stuwraket op een hoogte van 300 km boven het aardoppervlak wordt afgeworpen, moet het ruimteschip voldoende snelheid hebben om de maan te bereiken. De massa van het ruimteschip inclusief de maanrobotjes is $4{,}0 \cdot 10^3$ kg.

13 Bereken de hoeveelheid kinetische energie die het ruimteschip op een hoogte van 300 km moet hebben om de maan te bereiken. Verwaarloos de gravitatiekracht van de maan op het ruimteschip.

In werkelijkheid is de gravitatiekracht van de maan op het ruimteschip niet te verwaarlozen. Op de reis zal het ruimteschip een punt passeren waar de gravitatiekracht van de aarde even groot is als de gravitatiekracht van de maan. In figuur 3 staan zeven plaatsen (B tot en met H) waar dit punt zich mogelijk bevindt. De afstanden in deze figuur zijn op schaal. Voor ieder punt is aangegeven hoe de afstand van het punt tot het midden van de maan zich verhoudt tot de afstand van het punt tot het midden van de aarde.

figuur 3



14 Waarom kunnen de plaatsen B tot en met E zeker niet juist zijn?

15 Geef aan welke van de plaatsen F, G of H de juiste is. Licht je antwoord toe met een berekening.

©ThiemeMeulenhoff

Hints bij hoofdstuk 6

1 Op de geostationaire hoogte is F_g gelijk aan F_{mpz}.
2 Vergelijk met behulp van figuur 2 de waarden voor F_g en F_{mpz} op een hoogte die groter is dan de geostationaire hoogte.
3 Denk aan de middelpuntzoekende kracht.
4 Bereken één van de gravitatiekrachten.
5 Gebruik voor de berekening van v : $F_{mpz} = F_g$.
6 Gebruik de formule voor de gravitatiekracht voor de afleiding van a_{rel}.
7 Bereken r met behulp van de stelling van Pythagoras.
8 Kun je een schatting maken van het volume van α?
9 Voor de gravitatieconstante: zie Binas tabel 7A.
10 Welke kracht levert de middelpuntzoekende kracht?
11 Kan een raket zonder beginsnelheid loskomen van de aarde?
12 Zie voor de straal van de aarde Binas 31 en voor de gravitatiekracht Binas 35A5.
13 Hoeveel neemt de gravitatie-energie toe tot aan het maanoppervlak?
14 De massa van de maan is kleiner dan de massa van de aarde.
15 Zie voor de formule van de gravitatiekracht Binas 35A5.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 6

Ruimtelift?

1 De geostationaire hoogte h volgt uit: $h = r - R$, waarin:
r = baanstraal van een satelliet op geostationaire hoogte
Op de geostationaire hoogte is de gravitatiekracht F_g de middelpuntzoekende kracht F_{mpz} :

$$F_g = F_{mpz} \Rightarrow G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{m \cdot \left(\frac{2\pi \cdot r}{T}\right)^2}{r} \quad \text{(Binas 35A2 en 35A5)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r^3 = \frac{G \cdot M}{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2} = \frac{G \cdot M \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2} \quad \Rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{G \cdot M \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2}}, \text{ met:}$$

G = gravitatieconstante = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
m = massa van de satelliet
M = massa van de aarde = $5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
v = snelheid van de satelliet
T = duur van één omwenteling van de satelliet = 1 dag = 86400 s (Binas 5)

$$\text{zodat: } r = \sqrt[3]{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}97 \cdot 10^{24} \cdot 86400^2}{4 \cdot \pi^2}} = 4{,}223 \cdot 10^7 \text{ m}$$

R = straal van de aarde aan de evenaar = $6{,}38 \cdot 10^6$ m (Binas 31)
Invullen: $h = 4{,}223 \cdot 10^7 - 6{,}38 \cdot 10^6 = 3{,}585 \cdot 10^7 = 3{,}6 \cdot 10^7$ m (= $3{,}6 \cdot 10^4$ km)
r is ook rechtstreeks te bepalen uit de wet van Kepler:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4 \cdot \pi^2} \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt[3]{\frac{G \cdot M \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2}} \quad \textit{(Binas 35A5)}$$

Let op, deze formule staat verkeerd in de zesde editie van Binas informatieboek.

2 Op een hoogte die groter is dan de geostationaire hoogte, is de benodigde middelpuntzoekende kracht groter dan de gravitatiekracht op B (zie figuur 1). De kabel oefent dus een kracht uit op massa B, die het verschil is tussen de middelpuntzoekende kracht (F_{mpz}) en de gravitatiekracht (F_g) op B op die hoogte. Volgens de derde wet van Newton (Binas 35A3) oefent de massa B dan een even grote maar tegengestelde reactiekracht uit op de kabel. Als de zwaartekracht op de kabel kleiner is dan deze reactiekracht, treedt er in de kabel een spankracht op, waardoor de kabel strak staat.

WMAP-I

3 Voor de resulterende kracht F_{res} geldt: $F_{res} = F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r}$ (Binas 35A2), waarin:
F_{mpz} = middelpuntzoekende kracht
m = massa van de satelliet = 840 kg
v = snelheid van de satelliet = $\dfrac{2\pi \cdot r}{T}$ (Binas 35A2), met:
r = baanstraal van de satelliet = $r_a + r_{a\text{-wmap}}$, met:
r_a = baanstraal van de aarde = $0{,}1496 \cdot 10^{12}$ m (Binas 31)
$r_{a\text{-wmap}}$ = afstand van de satelliet tot de aarde = 1,5 miljoen km = $1{,}5 \cdot 10^9$ m
zodat: $r = 0{,}1496 \cdot 10^{12} + 1{,}5 \cdot 10^9 = 1{,}511 \cdot 10^{11}$ m

T = omlooptijd van de satelliet = 365 d = $365 \cdot 24 \cdot 3600$ s = $3{,}154 \cdot 10^7$ s
zodat: $v = \dfrac{2\pi \cdot 1{,}511 \cdot 10^{11}}{3{,}154 \cdot 10^7} = 3{,}010 \cdot 10^4$ m s^{-1}
r = $1{,}511 \cdot 10^{11}$ m

$$\text{Invullen: } F_{res} = \frac{840 \cdot (3{,}010 \cdot 10^4)^2}{1{,}511 \cdot 10^{11}} = 5{,}0 \text{ N}$$

4 *methode 1*
We berekenen eerst de gravitatiekracht $F_{g,a}$ van de aarde op WMAP met:

$$F_{g,a} = G \cdot \frac{m \cdot M_a}{(r_{a\text{-wmap}})^2} \quad \text{(Binas 35A5), waarin:}$$

G = gravitatieconstante = $6{,}673 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
m = massa van de satelliet = 840 kg
M_a = massa van de aarde = $5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
$r_{a\text{-wmap}}$ = afstand van de satelliet tot de aarde = 1,5 miljoen km = $1{,}5 \cdot 10^9$ m

$$\text{Invullen: } F_{g,a} = 6{,}673 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{840 \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{(1{,}5 \cdot 10^9)^2} = 0{,}15\text{N}$$

De gravitatiekracht $F_{g,z}$ van de zon op WMAP volgt dan uit:
$F_{g,z} = F_{res} - F_{g,a} = 5{,}0 - 0{,}15 = 4{,}9$ N
De gravitatiekracht van de zon levert dus de grootste bijdrage aan de resulterende kracht.
We hadden ook eerst de gravitatiekracht van de zon kunnen uitrekenen en daarmee de gravitatiekracht van de aarde kunnen berekenen.

methode 2
Voor de verhouding van de gravitatiekrachten geldt:

$$\frac{F_{g,a}}{F_{g,z}} = \frac{G \cdot \frac{m \cdot M_a}{(r_{a\text{-wmap}})^2}}{G \cdot \frac{m \cdot M_z}{(r_{z\text{-wmap}})^2}} = \frac{M_a \cdot (r_{z\text{-wmap}})^2}{M_z \cdot (r_{a\text{-wmap}})^2} \quad \text{(Binas 35A5), waarin:}$$

$F_{g,a}$ = gravitatiekracht van de aarde op WMAP
$F_{g,z}$ = gravitatiekracht van de zon op WMAP
G = gravitatieconstante
m = massa van de satelliet
M_a = massa van de aarde = $5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
$r_{a\text{-wmap}}$ = afstand van WMAP tot de aarde = 1,5 miljoen km = $1{,}5 \cdot 10^9$ m
M_z = massa van de zon = $1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg (Binas 32C)
$r_{z\text{-wmap}}$ = baanstraal van WMAP = *baanstraal van de aarde* + $r_{a\text{-wmap}}$ =
= $0{,}1496 \cdot 10^{12} + 1{,}5 \cdot 10^9$ (Binas 31) = $1{,}511 \cdot 10^{11}$ m

$$\text{Invullen: } \frac{F_{g,a}}{F_{g,z}} = \frac{5{,}972 \cdot 10^{24} \cdot (1{,}511 \cdot 10^{11})^2}{1{,}9884 \cdot 10^{30} \cdot (1{,}5 \cdot 10^9)^2} = 0{,}030$$

De gravitatiekracht van de aarde is dus veel kleiner dan die van de zon, dus de zon levert de grootste bijdrage in de resulterende kracht.

Grace

5 Het aantal rondjes n dat de satellieten per etmaal afleggen, volgt uit: $n = \frac{t}{T}$, waarin:

t = één etmaal = 24 h

T = omlooptijd van de satellieten

Er geldt: $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ (Binas 35A2) $\Rightarrow T = \frac{2\pi \cdot r}{v}$, met:

v = baansnelheid van de satellieten

Berekening van v:

De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} wordt geleverd door de gravitatiekracht

F_g, dus: $F_{mpz} = F_g \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$ (Binas 35A2 en 35A5) $\Rightarrow$

$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$, met:

m = massa van één satelliet

r = afstand van een satelliet tot het middelpunt van de aarde = $R + h$, met:

R = straal van de aarde = $6{,}371 \cdot 10^6$ m (Binas 31)

h = hoogte van de satelliet boven de aarde = 485 km = $0{,}485 \cdot 10^6$ m,

zodat: $r = (6{,}371 + 0{,}485) \cdot 10^6 = 6{,}86 \cdot 10^6$ m

G = gravitatieconstante = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)

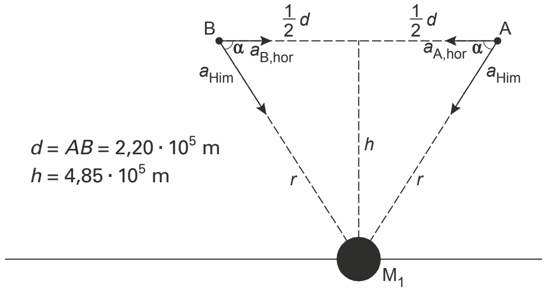
M = massa van de aarde = $5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)

zodat: $v = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}97 \cdot 10^{24}}{6{,}86 \cdot 10^6}} = 7{,}62 \cdot 10^3$ m s^{-1}

zodat: $T = \frac{2\pi \cdot 6{,}86 \cdot 10^6}{7{,}62 \cdot 10^3} = 5{,}66 \cdot 10^3$ s $= \frac{5{,}66 \cdot 10^3}{3600}$ h = 1,57 h

Invullen: $n = \frac{24}{1{,}57} = 15{,}3 \approx 15$ rondjes

6 Zie de tekening.



- In de tekening staan langs de lijn BA de horizontale componenten $a_{B,hor}$ en $a_{A,hor}$ van de versnellingen op B en A getekend. De onderlinge versnelling is gericht langs de lijn BA, dus deze wordt bepaald door $a_{B,hor}$ en $a_{A,hor}$. De verticale componenten van a_{Him} dragen niet bij.
- De horizontale component $a_{B,hor}$ op B wijst naar rechts (naar A) en de horizontale component $a_{A,hor}$ op A wijst naar links (naar B), dus de twee satellieten worden naar elkaar toe versneld.
- Voor de grootte van de onderlinge versnelling a_{rel} geldt (zie tekening):

$a_{rel} = |a_{B,hor}| + |a_{A,hor}|$, waarin: $a_{A,hor} = -a_{B,hor}$, zodat:

$a_{rel} = 2 \cdot |a_{B,hor}| = 2 \cdot a_{Him} \cdot \cos\alpha = 2 \cdot \frac{F_g}{m} \cdot \cos\alpha$ (Binas 35A3) =

$= 2 \cdot \frac{1}{m} \cdot \frac{G \cdot m \cdot M_1}{r^2} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot d}{r}$ (Binas 35A5) $= G \cdot M_1 \cdot \frac{d}{r^3}$, met:

F_g = gravitatiekracht op B, m = massa van B, M_1 = massa van de Himalaya,

α = hoek die de richtingen van BA en BM$_1$ met elkaar maken,

G = gravitatieconstante, r = afstand tussen B en M$_1$ en d = afstand tussen B en A.

©ThiemeMeulenhoff

7 We berekenen de massa M_1 met: $a_{rel} = G \cdot M_1 \cdot \frac{d}{r^3} \Rightarrow M_1 = \frac{a_{rel} \cdot r^3}{G \cdot d}$, waarin:

a_{rel} = maximale onderlinge versnelling = $4{,}65 \cdot 10^{-7}$ m s^{-2} (afgelezen in figuur 3)

r = afstand tussen B en M$_1$ (zie tekening)

Bereken r met de stelling van Pythagoras

$r^2 = (\frac{1}{2} \cdot d)^2 + h^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow r = \sqrt{(\frac{1}{2} \cdot d)^2 + h^2} = \sqrt{(\frac{1}{2} \cdot 2{,}20 \cdot 10^5)^2 + (4{,}85 \cdot 10^5)^2} = 4{,}97 \cdot 10^5$ m

G = gravitatieconstante = $6{,}674 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)

d = $AB = 2{,}20 \cdot 10^5$ m

Invullen: $M_1 = \frac{4{,}65 \cdot 10^{-7} \cdot (4{,}97 \cdot 10^5)^3}{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 2{,}20 \cdot 10^5} = 3{,}86 \cdot 10^{15}$ kg

Dubbel-planetoïde 1999 KW4

8 We vergelijken de geschatte dichtheid ρ_α van de planetoïde α met die van ijzer ρ_{ijzer}.

Bepaling van de dichtheid ρ_α met: $\rho_\alpha = \frac{m}{V}$ (Binas 35C1), waarin:

m = massa van α = $2{,}6 \cdot 10^{12}$ kg

V = volume van α

Dit volume moeten we aan de hand van figuur 1 schatten. De planetoïde heeft met een beetje fantasie iets weg van een bol. Als 1,5 km de grootste diameter is, nemen we een bol met straal $r = 0{,}65$ km $= 0{,}65 \cdot 10^3$ m

$\Rightarrow V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$ (Binas 36B) $= \frac{4}{3}\pi \cdot (0{,}65 \cdot 10^3)^3 = 1{,}15 \cdot 10^9$ m^3

Invullen: $\rho_\alpha = \frac{2{,}6 \cdot 10^{12}}{1{,}15 \cdot 10^9} = 2{,}3 \cdot 10^3$ kg m^{-3}, terwijl $\rho_{ijzer} = 7{,}87 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 8)

De veronderstelling dat α uit ijzer zou bestaan is dus onaannemelijk.

9 De afstand r tussen α en β vinden we uit:

$\frac{G \cdot M}{4\pi^2} = \frac{r^3}{T^2} \Rightarrow r^3 = \frac{G \cdot M \cdot T^2}{4\pi^2} \Rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{G \cdot M \cdot T^2}{4\pi^2}}$, waarin:

G = gravitatieconstante = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)

M = massa van α = $2{,}6 \cdot 10^{12}$ kg

T = omlooptijd van β = 17,4 h = 17,4 · 3600 s = $6{,}26 \cdot 10^4$ s

Invullen: $r = \sqrt[3]{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 2{,}6 \cdot 10^{12} \cdot (6{,}26 \cdot 10^4)^2}{4\pi^2}} = 2{,}6 \cdot 10^3$ m

10 De rotatietijd T_{rot} van α waarbij stenen op de evenaar nog net blijven liggen, volgt uit:

$v = \frac{2\pi \cdot r}{T_{rot}}$ (Binas 35A2) $\Rightarrow T_{rot} = \frac{2\pi \cdot r}{v}$, waarin:

v = maximale baansnelheid aan de evenaar waarbij een steen nog net blijft liggen

Dan is: $F_g = F_{mpz} \Rightarrow m \cdot g_\alpha = \frac{m \cdot v^2}{r} \Rightarrow v^2 = g_\alpha \cdot r \Rightarrow v = \sqrt{g_\alpha \cdot r}$, met:

F_g = gravitatiekracht op een massa m aan de evenaar van α = $= m \cdot g_\alpha$ (Binas 35A3)

F_{mpz} = middelzoekende kracht = $\frac{m \cdot v^2}{r}$ (Binas 35A2)

m = massa van een steen op de evenaar van α

g_α = valversnelling op de evenaar van α = $4{,}3 \cdot 10^{-4}$ m s^{-2}

r = straal van α = 0,5 · diameter van α = 0,5 · 1,5 km = $0{,}75 \cdot 10^3$ m

zodat: $v = 4{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}75 \cdot 10^3 = 0{,}568$ m s^{-1}

©ThiemeMeulenhoff

Invullen: $T_{rot} = \frac{2\pi \cdot 0{,}75 \cdot 10^3}{0{,}568} = 8{,}30 \cdot 10^3 \text{ s} = \frac{8{,}30 \cdot 10^3}{3600} \text{ h} = 2{,}3 \text{ h}$

De werkelijke omlooptijd is 2,5 h, dus als α iets sneller zou draaien, zouden stenen aan de evenaar inderdaad loskomen.

Reis naar de zon

11 De startwaarde van de snelheid *v* is in dit model niet nul, omdat *v* de snelheid voorstelt, nadat de raketmotoren de raket voldoende aanvangssnelheid hebben gegeven om aan de aantrekking van de aarde te ontsnappen.

12 – R_A = straal van de aarde aan de evenaar = $6{,}378 \cdot 10^6$ m (Binas 31)

– F_{zon} = gravitatiekracht van de zon = $G \cdot \frac{M_{zon} \cdot m}{(d_{AZ} - x)^2}$ (Binas 35A5)

Afstand raket-zonoppervlak = afstand aarde-zon minus afstand aarde-raket

– $F_{res} = F_{zon} - F_A$

– Als $x > d_{AZ} - R_{zon}$

De raket slaat op de oppervlakte van de zon in en R_{zon} is niet verwaarloosbaar ten opzichte van d_{AZ}.

Maanrobotjes

13 We berekenen de hoeveelheid kinetische energie E_k die het ruimteschip op een hoogte van 300 km moet hebben om de maan te bereiken met:

$$E_k = \Delta E_{grav} = \left(-G \cdot \frac{m_{rs} \cdot M_A}{r_{opp.m}}\right) - \left(-G \cdot \frac{m_{rs} \cdot M_A}{r_{300}}\right) =$$

$$= -G \cdot m_{rs} \cdot M_A \cdot \left(\frac{1}{r_{opp.m}} - \frac{1}{r_{300}}\right)$$ (Binas 35A5), waarin:

ΔE_{grav} = verschil tussen de gravitatie-energie op het maanoppervlak en de gravitatie-energie op 300 km hoogte boven de aarde
G = gravitatieconstante = $6{,}674 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
m_{rs} = massa van het ruimteschip = $4{,}0 \cdot 10^3$ kg
M_A = massa van de aarde = $5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
$r_{opp.m}$ = afstand van het middelpunt van de aarde tot aan het maanoppervlak = = straal van de baan van de maan – straal van maan = = $384{,}4 \cdot 10^6 - 1{,}74 \cdot 10^6 = 382{,}7 \cdot 10^6$ m (Binas 31)
r_{300} = afstand van het middelpunt van de aarde tot 300 km hoogte boven de aarde = = straal van de aarde + 300 km = = $6{,}37 \cdot 10^6 + 300 \cdot 10^3 = 6{,}67 \cdot 10^6$ m (Binas 31)

Invullen: $E_k = -6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 4{,}0 \cdot 10^3 \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24} \cdot \left(\frac{1}{382{,}7 \cdot 10^6} - \frac{1}{6{,}67 \cdot 10^6}\right) = 2{,}3 \cdot 10^{11}$ J

14 De gravitatiekracht is recht evenredig met de massa van het hemellichaam en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot dat hemellichaam.
De massa van de maan is kleiner dan de massa van de aarde.
Het punt waar de gravitatiekrachten van aarde en maan even groot zijn, zal dus dichter bij de maan moeten liggen dan bij de aarde. De plaatsen B tot en met E zijn zeker niet juist.

15 Voor de gevraagde plaats *X* geldt:

$F_{grav,A} = F_{grav,M} \Rightarrow G \cdot \frac{m_{rs} \cdot M_A}{r_{AX}^2} = G \cdot \frac{m_{rs} \cdot M_M}{r_{MX}^2}$ (Binas 35A5) ⇒

$\frac{M_A}{r_{AX}^2} = \frac{M_M}{r_{MX}^2} \Rightarrow \frac{r_{MX}^2}{r_{AX}^2} = \frac{M_M}{M_A} \Rightarrow \frac{r_{MX}}{r_{AX}} = \sqrt{\frac{M_M}{M_A}}$, waarin:

$F_{grav,A}$ = gravitatiekracht van de aarde op het ruimteschip
$F_{grav,M}$ = gravitatiekracht van de maan op het ruimteschip
G = gravitatieconstante
m_{rs} = massa van het ruimteschip
M_A = massa van de aarde = $5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
M_M = massa van de maan = $0{,}0735 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
r_{AX} = afstand tussen het midden van de aarde en het ruimteschip
r_{MX} = afstand tussen het midden van de maan en het ruimteschip

Invullen: $\frac{r_{MX}}{r_{AX}} = \sqrt{\frac{0{,}0735 \cdot 10^{24}}{5{,}97 \cdot 10^{24}}} = 0{,}111$

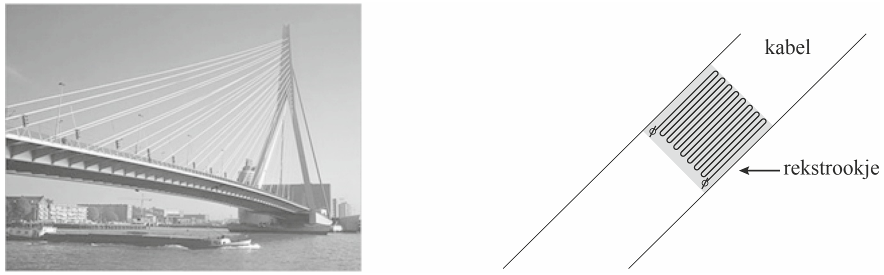
In figuur 3 lezen we af dat plaats *X* overeenkomt met plaats G.

7 Elektrische systemen (domein D1)

Rekstrookje

Om te controleren of een brug niet te zwaar belast wordt, maakt men gebruik van sensoren. In zo'n sensor zit een zogenoemd 'rekstrookje', dat op een kabel van de brug is geplakt. In zo'n rekstrookje is een lange, dunne constantaandraad verwerkt. Zie figuur 1.

figuur 1



Deze draad heeft een weerstand van 350 Ω en een diameter van 40 µm.

1 Bereken de lengte van de constantaandraad.

Als er veel verkeer op de brug is, rekt de kabel een beetje uit. Het rekstrookje rekt relatief evenveel uit. Bij deze uitrekking verandert de weerstand van het rekstrookje. Door deze weerstandsverandering te meten, weet men of de kabel te veel uitrekt.

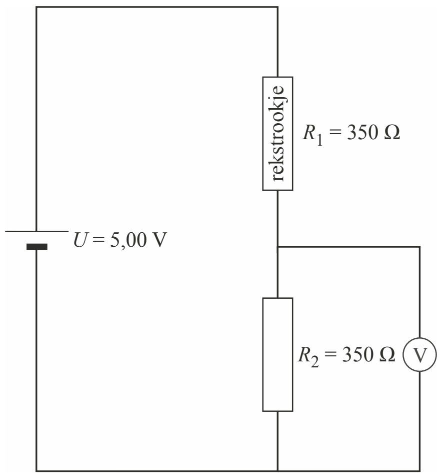
Als het strookje uitrekt, wordt de weerstand van de constantaandraad groter.

2 Geef twee redenen hiervoor.

De weerstandsverandering van het rekstrookje kan bepaald worden met de schakeling van figuur 2. Als de weerstand van het rekstrookje 1,0 Ω groter wordt, verandert de spanning die de spanningsmeter aangeeft minder dan een half procent.

3 Toon dat aan.

figuur 2



©ThiemeMeulenhoff

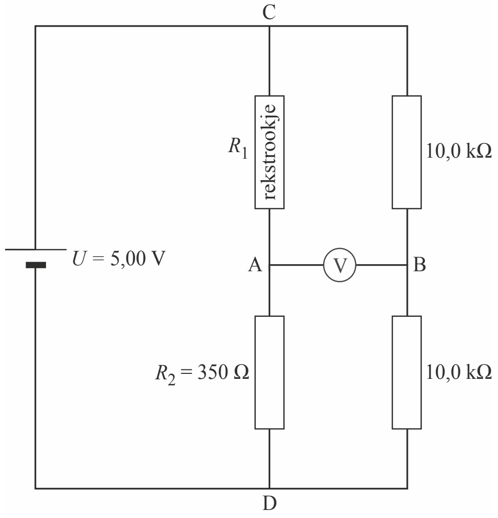
Om de weerstandsverandering beter te meten, wordt de schakeling van figuur 3 gebruikt. Als het rekstrookje niet is uitgerekt, geeft de spanningsmeter 0,000 V aan.

4 Leg dit uit.

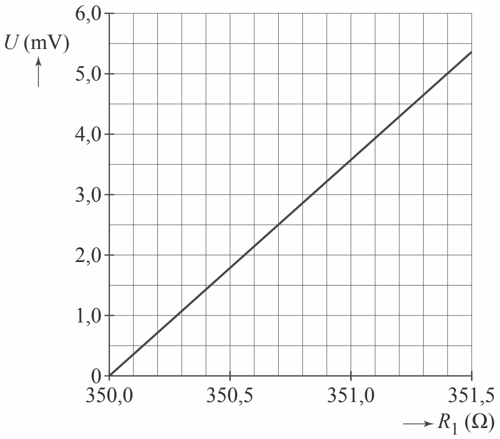
Als het rekstrookje uitrekt, geeft de spanningsmeter wel een spanning aan. Zie figuur 4.
Een verandering van de weerstand van het rekstrookje van 1,0 Ω kan nauwkeuriger gemeten worden met de schakeling van figuur 3 dan met de schakeling van figuur 2.

5 Leg dit uit.

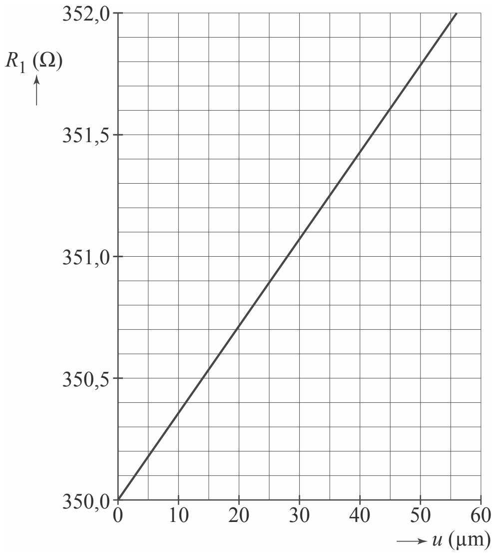
figuur 3



figuur 4



figuur 5



Het rekstrookje heeft een lengte van 6,1 cm en is op een 198 m lange kabel van de brug vastgeplakt. In figuur 5 is het verband tussen de weerstand en de uitrekking van het rekstrookje weergegeven.
Als door veel verkeer de kabel van de brug 12 cm uitrekt, gaat een alarm af.

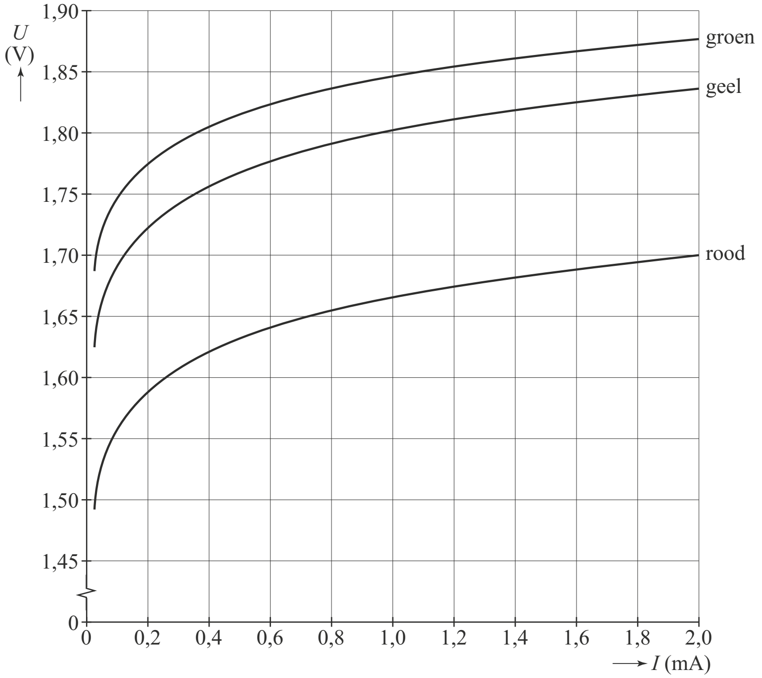
6 Bepaal bij welke spanning het alarm afgaat.

©ThiemeMeulenhoff

Gekleurde LED's-I

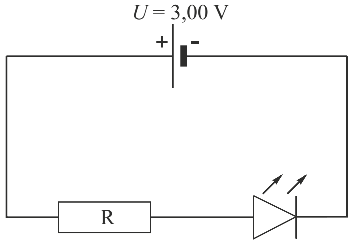
Een LED (Light Emitting Diode) is een diode die licht uitzendt als deze in de doorlaatrichting geschakeld is. In figuur 1 staan de (*U,I*)- karakteristieken van een aantal LED's met verschillende kleuren.

figuur 1



In figuur 2 is een schakeling getekend waarin een **rode** LED in serie geschakeld is met een weerstand.
De spanning U = 3,00 V.
Door de **rode** LED in figuur 2 loopt een stroomsterkte van 0,60 mA.

figuur 2



7 Bepaal de grootte van de weerstand R.

De **rode** LED in de schakeling wordt vervangen door een **groene** LED.
De stroomsterkte door de groene LED is ook 0,60 mA.

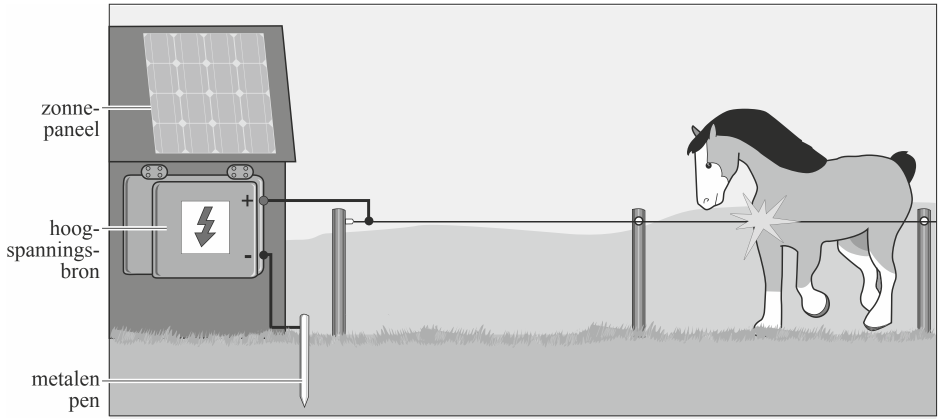
8 Beredeneer of de waarde van de weerstand R dan groter of kleiner gekozen moet worden.

©ThiemeMeulenhoff

Schrikdraadinstallatie

Om weilanden af te rasteren wordt vaak schrikdraad gebruikt. In figuur 1 staat een schematische tekening van een schrikdraadinstallatie.

figuur 1



De hoogspanningsbron zet de schrikdraden met korte pulsen onder spanning. Als een dier het schikdraad aanraakt, krijgt het een schok.

9 Voer de volgende opdrachten uit:
- Noem de onderdelen van de stroomkring die dan ontstaat.
- Leg uit of de installatie energie verbruikt als de schrikdraad niet aangeraakt wordt.

Voor een bepaald soort schrikdraad wordt draad van roestvrij staal gebruikt met een lengte van 400 m en een diameter van 3,2 mm.

10 Bereken de weerstand van deze draad.

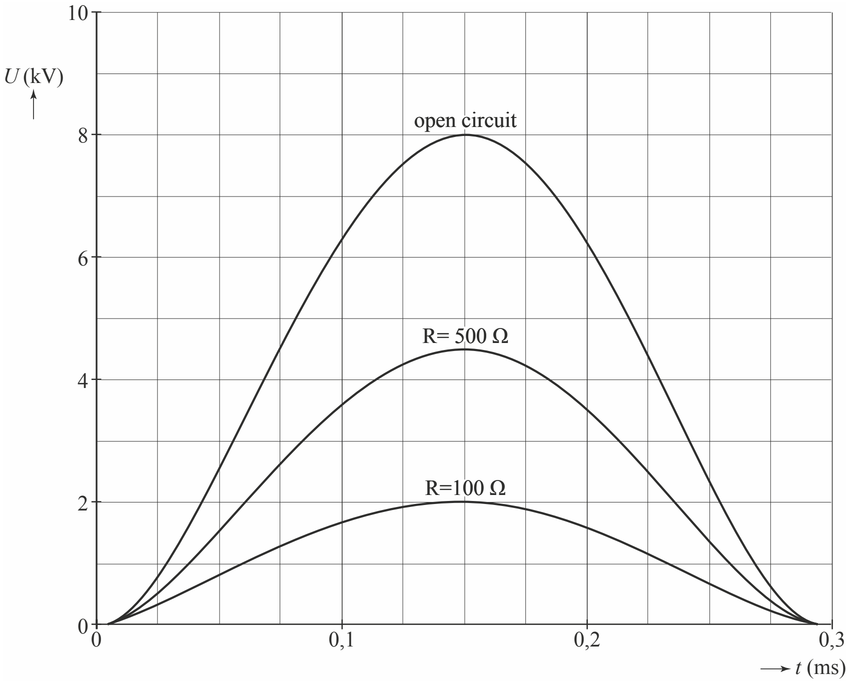
De Europese normen voor elektrische afrasteringen zijn vastgelegd in de zogenoemde EN-normen. De vier belangrijkste EN-normen voor een schrikdraadinstallatie zijn:

1. De onbelaste uitgangsspanning mag niet hoger zijn dan 10 kV.
2. De duur van één puls mag niet groter zijn dan 10 ms.
3. De maximale stroomsterkte mag niet meer zijn dan 15 A bij een belastingsweerstand van 100 Ω **en** van 500 Ω.
4. De energie in één puls mag niet meer bedragen dan 6 J.

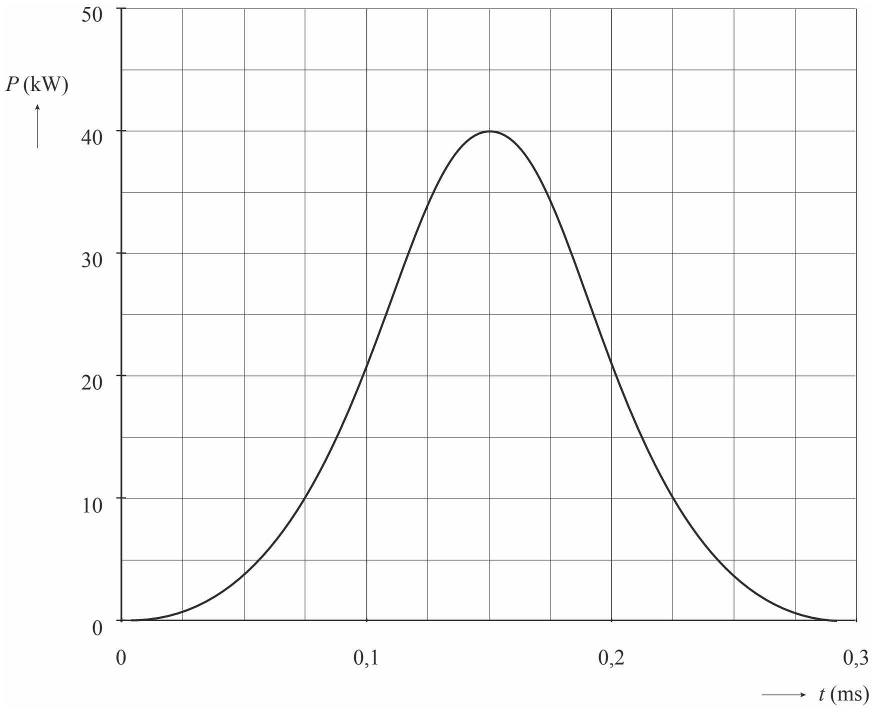
Een Amerikaanse fabrikant wil zijn schrikdraadinstallatie op de Europese markt brengen.
De spanningspulsen bij verschillende belastingsweerstanden van die installatie zijn te zien in figuur 2. Met die gegevens is de (*P,t*)-grafiek gemaakt die weergegeven is in figuur 3. De (*P,t*)-grafiek van figuur 3 geldt dus zowel voor de belastingsweerstand van 100 Ω als voor de belastingsweerstand van 500 Ω.

©ThiemeMeulenhoff

figuur 2



figuur 3



©ThiemeMeulenhoff

11 Toon aan met behulp van figuur 2 en figuur 3 dat de maximale waarde van de (*P,t*)-grafiek van figuur 3 juist is voor de belastingsweerstanden van 100 Ω en van 500 Ω.

12 Laat met behulp van figuur 2 en figuur 3 voor elke van de vier EN-normen zien of deze schrikdraadinstallatie eraan voldoet.

Stad van de Zon

De nieuwbouwwijk 'Stad van de Zon' in Heerhugowaard dankt zijn naam aan het grote aantal zonnepanelen dat geïnstalleerd is. Deze kunnen samen een piekvermogen van 3,75 MW leveren. In de wijk zijn 1600 huizen gebouwd. Janine vraagt zich af hoeveel vierkante meter zonnepanelen voor dit vermogen nodig is. Ook vraagt zij zich af of de energie die door de zonnepanelen geleverd gaat worden genoeg zal zijn voor de hele wijk.

Van verschillende websites haalt ze de informatie die in het onderstaande kader staat.

- Het piekvermogen is het elektrisch vermogen dat zonnepanelen leveren bij 'volle zon' (maximale zonneschijn en loodrechte inval).
- In Nederland is de intensiteit van het zonlicht bij 'volle zon' 1000 W m^{-2}.
- Het gemiddelde vermogen van een zonnepaneel op jaarbasis is 10% van het piekvermogen.
- Het rendement van de gebruikte zonnepanelen is 13%.
- Een gemiddeld Nederlands huishouden gebruikt per jaar 3656 kWh aan elektrische energie.
- De spanning die de zonnepanelen leveren wordt omgezet naar een spanning van 230 V.

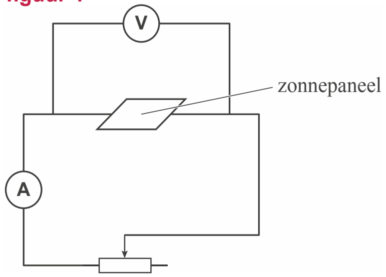
13 Bereken de totale oppervlakte van de zonnepanelen in de 'Stad van de Zon'.

14 Laat met behulp van een berekening zien of de zonnepanelen op jaarbasis voldoende energie leveren voor de huizen in de wijk.

©ThiemeMeulenhoff

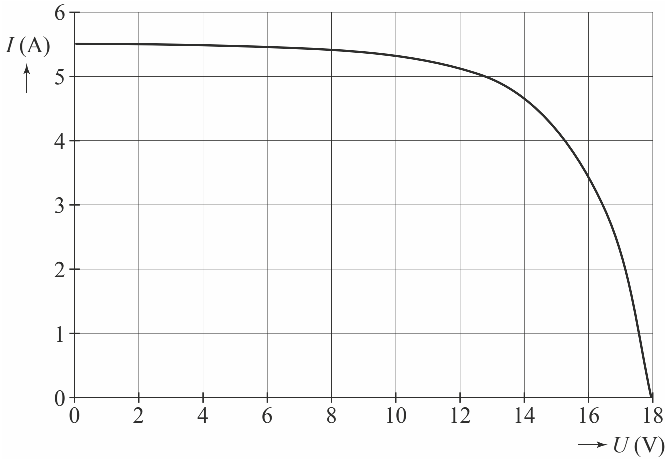
Janine ontwerpt een experiment om te onderzoeken hoe het elektrisch vermogen van een zonnepaneel afhangt van de weerstand die erop aangesloten wordt. Ze bouwt een opstelling waar, bij een constante lichtintensiteit, een variabele testweerstand op een zonnepaneel aangesloten wordt. Zie figuur 1.

figuur 1



Afhankelijk van de weerstand veranderen de stroomsterkte en de spanning die het paneel levert. Van haar meetresultaten maakt ze het diagram van figuur 2.

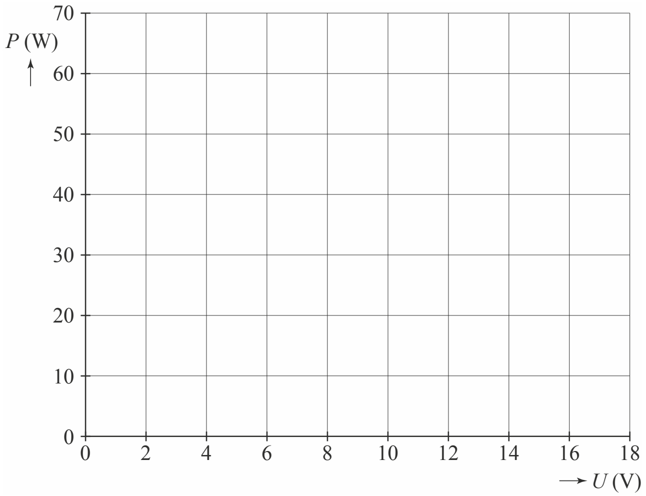
figuur 2



15 Zet op de grafiek in figuur 2 duidelijk drie punten:
- Eén punt waar de aangesloten weerstand 0 is. Zet bij dit punt 0.
- Eén punt waar de aangesloten weerstand oneindig groot is. Zet bij dit punt ∞.
- Eén punt waar de aangesloten weerstand gelijk is aan 2,5 Ω. Zet bij dit punt 2,5. Geef een toelichting met een berekening of tekening.

16 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken de grootte van het vermogen bij de volgende spanningen: U = 0, 2, 6, 10, 14, 16 en 18 V.
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage het (P,U)-diagram.
- Bepaal bij welke weerstand het vermogen maximaal is.

uitwerkbijlage bij vraag 16



Vol of leeg?

Op een batterij staat: 1,5 V; 2300 mAh. Dat betekent dat de batterij bij een spanning van 1,5 V gedurende één uur een stroom van 2,3 A kan leveren, of gedurende een half uur een stroom van 4,6 A enz. We gaan er van uit dat de batterij de hele tijd een spanning van 1,5 V levert en daarna helemaal leeg is.

17 Bereken hoeveel elektrische energie de batterij kan leveren.

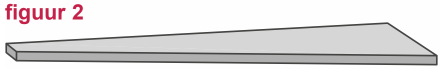
De batterij wordt gebruikt in een klok met een weerstand van 12 kΩ.

18 Bereken hoeveel jaar de klok op de batterij kan lopen.

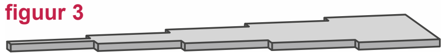
In werkelijkheid blijft de spanning van de batterij niet voortdurend 1,5 V. De spanning zakt langzaam naarmate de batterij verder leeg raakt.
Op sommige batterijen zit daarom een tester om te zien hoe 'vol' de batterij nog is. Zie figuur 1.
De tester bestaat uit een trapeziumvormige geleidende strip metaal met temperatuurgevoelige verf.
Als je met twee vingers op de tester drukt, maakt hij contact met de beide polen van de batterij. Doordat er dan een stroom door de tester loopt, wordt deze warm. Hierdoor verkleurt de temperatuurgevoelige verf.
In figuur 2 is de trapeziumvormige strip schematisch weergegeven.
We kunnen ons de strip voorstellen als vijf strookjes metaal die overal even dik zijn maar sprongsgewijs breder worden. Zie figuur 3.

figuur 1

figuur 2



figuur 3



Het dunste deel is 1,0 mm breed en heeft een weerstand van 1,3 Ω.
De volgende strookjes zijn achtereenvolgens 2,0 mm, 3,0 mm, 4,0 mm en 5,0 mm breed.

19 Bereken de weerstand van de gehele strip van figuur 3.

Als de batterij niet helemaal vol is, kleurt de strip aan de ene kant lichter dan aan de andere kant. Aan de ene kant van de strip is de temperatuur kennelijk hoger dan aan de andere.

20 Leg uit aan welke kant van de strip de temperatuur het hoogst is: aan de smalle of aan de brede kant.

De fabrikant wil het ontwerp van de tester aanpassen, zodat die geschikt wordt voor een batterij van 9 V. Hierbij wordt dezelfde temperatuurgevoelige verf gebruikt.

21 Noem twee wijzigingen die hij in het ontwerp kan aanbrengen, zodat de batterijentester geschikt wordt voor een batterij van 9 V. Licht je antwoord toe.

©ThiemeMeulenhoff

Hints bij hoofdstuk 7

1 Welke verband is er tussen R, ρ, ℓ en A?
2 Neemt de doorsnede van de draad bij uitrekking toe of af?
3 Bereken de spanning over R_2 als R_1 = 351 Ω.
4 Wat weet je van de spanningen U_{CA} en U_{AD}?
5 Wat geeft de spanningsmeter aan bij R_1 = 351 Ω?
6 Bepaal eerst de uitrekking van het rekstrookje.
7 Bepaal eerst de spanning over de rode LED bij een stroomsterkte van 0,60 mA.
8 Is bij 0,60 mA de spanning over de groene LED groter of kleiner dan over de rode?
9 Doorloop de hele stroomkring. Niet aanraken betekent: geen gesloten circuit.
10 Wat is het verband tussen R, ρ, ℓ en A?
11 Voor het verband tussen P, U en R: zie Binas 35D1.
12 Lees de waarden van de grootheden af bij de top van de puls; wat stelt de oppervlakte onder de grafiek voor in het (P,t)-diagram?
13 Hoe groot is het rendement van de zonnepanelen?
14 Bereken eerst de hoeveelheid energie die de zonnepanelen leveren op jaarbasis.
15 Hoe ziet het (U,I)-diagram voor een Ohmse weerstand van 2,5 Ω eruit?
16 Welk verband is er tussen P, U en I?
17 Zie Binas 35D1.
18 Gebruik de wet van Ohm voor het berekenen van de stroomsterkte I.
19 Wat is het verband tussen de weerstand R_{strook} en de breedte van de strook?
20 Combineer de formules $P = U \cdot I$ en $U = I \cdot R$ waarbij je U elimineert.
21 Hoe maak je de stroomsterkte I in de strip kleiner?

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 7

Rekstrookje

1 We berekenen de lengte ℓ van de constantaandraad met:

$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow \ell = \frac{A \cdot R}{r}$, waarin:

R = weerstand van de draad = 350 Ω

ρ = soortelijke weerstand van constantaan = $0{,}45 \cdot 10^{-6}$ Ω m (Binas 9)

A = doorsnede van de draad.

Er geldt: $A = \pi \cdot r^2$ (Binas 36.12) $= \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}\pi \cdot d^2$, met:

r = straal van de draad

d = diameter van de draad = 40 µm = $40 \cdot 10^{-6}$ m

zodat: $A = \frac{1}{4}\pi \cdot (40 \cdot 10^{-6})^2 = 1{,}26 \cdot 10^{-9}$ m^2

Invullen: $\ell = \frac{1{,}26 \cdot 10^{-9} \cdot 350}{0{,}45 \cdot 10^{-6}} = 0{,}98$ m

2 Voor de weerstand R van de constantaandraad geldt:

$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ R is recht evenredig met de lengte ℓ: bij uitrekking van het strookje neemt de lengte van de constantaandraad toe, dus R wordt groter

$\Rightarrow$ R is omgekeerd evenredig met de doorsnede A : bij uitrekking van het strookje zal de doorsnede afnemen, dus R wordt groter.

3 Als het strookje nog niet is uitgerekt ('ongerekt'), wordt de bronspanning van 5,00 V gelijk verdeeld over de beide weerstanden van 350 Ω $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ de spanning over R_2 is dan $U_{2,ong} = 2{,}50$ V

Als het strookje wel is uitgerekt ('gerekt'), wordt de bronspanning van 5,00 V verdeeld over $R_{1,ger} = 351$ Ω en $R_2 = 350$ Ω.

Voor de spanning over R_2 geldt dus: $U_{2,ger} = \frac{350}{350 + 351} \cdot 5{,}00 = 2{,}4964$ V (spanningsdeler).

Berekening van het percentage dat de spanning over weerstand R_2 is veranderd:

$\frac{U_{2,ger} - U_{2,ong}}{U_{2,ong}} \cdot 100\% = \frac{2{,}4964 - 2{,}50}{2{,}50} \cdot 100\% = -0{,}14\%$

Dus dit is een afname van minder dan een half procent.

$U_{2,ger}$ kan ook berekend worden met: $U_{2,ger} = I_{ger} \cdot R_2$ (Binas 35D1), waarin:

I_{ger} = stroomsterkte = $\frac{U_{bron}}{R_{1,ger} + R_2}$ (Binas 35D1), met:

U_{bron} = 5,00 V

$R_{1,ger}$ = 351 Ω

R_2 = 350 Ω

zodat: $I_{ger} = \frac{5{,}00}{351 + 350} = 7{,}133 \cdot 10^{-3}$ A

Invullen: $U_{2,ger} = 7{,}133 \cdot 10^{-3} \cdot 350 = 2{,}4966$ V

4 Als het rekstrookje niet is uitgerekt, geldt:

$$\begin{cases} R_{AC} = R_{AD} \\ R_{CB} = R_{BD} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U_{CA} = U_{AD} = 2{,}50\text{ V} \\ U_{CB} = U_{BD} = 2{,}50\text{ V} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U_{CA} = U_{CB} \\ U_{AD} = U_{BD} \end{cases} \Rightarrow U_{AB} = 0$$

©ThiemeMeulenhoff

5 Als de weerstand van het rekstrookje van 350 Ω naar 351 Ω toeneemt, verandert de spanning over de voltmeter van 0,00 V naar 3,55 mV (afgelezen in figuur 4).

De relatieve spanningsverandering is in de schakeling van figuur 3 dus veel groter dan in de schakeling van figuur 2.

6 We bepalen eerst de uitrekking u_{rek} van het rekstrookje.

Het rekstrookje rekt relatief evenveel uit als de kabel, dus geldt:

$\frac{u_{rek}}{\ell_{rek}} = \frac{u_{kabel}}{\ell_{kabel}} \Rightarrow u_{rek} = \ell_{rek} \cdot \frac{u_{kabel}}{\ell_{kabel}}$, waarin:

ℓ_{rek} = lengte van het rekstrookje = 6,1 cm = $6{,}1 \cdot 10^{-2}$ m

u_{kabel} = uitrekking van de kabel = 12 cm = $12 \cdot 10^{-2}$ m

ℓ_{kabel} = lengte van de kabel = 198 m

Invullen: $u_{rek} = 6{,}1 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{12 \cdot 10^{-2}}{198} = 37 \cdot 10^{-6}$ m = 37 µm

Het rekstrookje heeft dan een weerstand van 351,32 Ω (afgelezen in figuur 5).

Het alarm gaat dus bij een spanning 4,7 mV af (afgelezen in figuur 4).

Gekleurde LED's-I

7 *methode 1*

De grootte van de weerstand R volgt uit: $U_R = I \cdot R$ (Binas 35D1) $\Rightarrow R = \frac{U_R}{I}$, waarin:

U_R = spanning over R

Er geldt: $U = U_R + U_{LED} \Rightarrow U_R = U - U_{LED}$ (Binas 35D1; serieschakeling), met:

U = totale spanning = 3,00 V

U_{LED} = spanning over de rode LED bij een stroomsterkte van 0,60 mA = 1,64 V (afgelezen in figuur 1)

zodat: $U_R = 3{,}00 - 1{,}64 = 1{,}36$ V

I = stroomsterkte in de keten = 0,60 mA = $0{,}60 \cdot 10^{-3}$ A

Invullen: $R = \frac{1{,}36}{0{,}60 \cdot 10^{-3}} = 2{,}3 \cdot 10^3$ Ω

methode 2

De grootte van de weerstand R volgt uit: $R_{tot} = R + R_{LED} \Rightarrow R = R_{tot} - R_{LED}$ (Binas 35D1; serieschakeling), waarin:

R_{tot} = totale weerstand van de in serie geschakelde weerstanden

Er geldt: $U = I \cdot R_{tot}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow R_{tot} = \frac{U}{I}$, met:

U = totale spanning = 3,00 V

I = stroomsterkte in de keten = 0,60 mA = $0{,}60 \cdot 10^{-3}$ A

zodat: $R_{tot} = \frac{3{,}00}{0{,}60 \cdot 10^{-3}} = 5{,}00 \cdot 10^3$ Ω

R_{LED} = weerstand van de rode LED bij een stroomsterkte van 0,60 mA

Er geldt: $U_{LED} = I \cdot R_{LED}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow R_{LED} = \frac{U_{LED}}{I}$, met:

U_{LED} = spanning bij I = 0,60 mA over de rode LED = 1,64 V (zie figuur 1)

I = stroomsterkte in de keten = 0,60 mA = $0{,}60 \cdot 10^{-3}$ A

zodat: $R_{LED} = \frac{1{,}64}{0{,}60 \cdot 10^{-3}} = 2{,}73 \cdot 10^3$ Ω

Invullen: $R = 5{,}00 \cdot 10^3 - 2{,}73 \cdot 10^3 = 2{,}3 \cdot 10^3$ Ω

©ThiemeMeulenhoff

8 Volgens figuur 1 is bij een stroomsterkte van 0,60 mA de spanning over de groene LED hoger dan over de rode LED. Dus is de spanning over de weerstand *R* lager. Omdat de stroomsterkte gelijk moet blijven, moet men voor *R* een kleinere weerstandswaarde kiezen.

Schrikdraadinstallatie

9
- De stroomkring bestaat uit de onderdelen: hoogspanningsbron, verbindingsdraad, schrikdraad, dier, aarde, metalen pin, verbindingsdraad, hoogspanningsbron.
- Als de draad niet wordt aangeraakt, is er geen verbinding tussen de schrikdraad en de aarde. Dan loop er geen elektrische stroom en dus wordt er ook geen elektrische energie verbruikt.

10 De weerstand *R* van de schrikdraad volgt uit:

$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$, waarin:

ρ = soortelijke weerstand van roestvrij staal = $0{,}72 \cdot 10^{-6}\ \Omega$ m (Binas 9)
ℓ = lengte van de schrikdraad = 400 m

A = doorsnede van de schrikdraad = $\pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$ (Binas 36B), met:

d = diameter van de schrikdraad = 3,2 mm = $3{,}2 \cdot 10^{-3}$ m

zodat: $A = \pi \cdot \left(\frac{3{,}2 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 = 8{,}04 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$

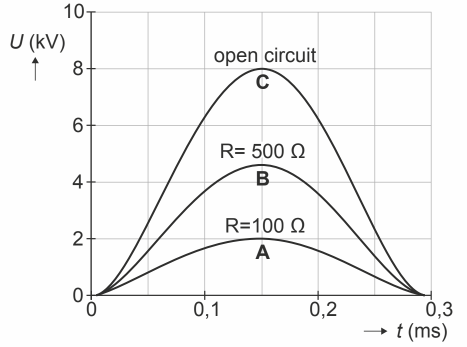
Invullen: $R = \rho \cdot \frac{\ell}{A} = 0{,}72 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{400}{8{,}04 \cdot 10^{-6}} = 36\ \Omega$

11 Zie tekening 1 en 2 (respectievelijk figuur 2 en 3 van de verkleinde uitwerkbijlage).
Voor $U_{max,100}$ (de maximale waarde van de spanning bij R = 100 Ω) lezen we in tekening 1 af: $U_{max,100}$ = 2,0 kV (punt A in tekening 1).
Evenzo geldt: $U_{max,500}$ = 4,5 kV (punt B in tekening 1).
Voor het vermogen *P*, de spanning *U*, de stroomsterkte *I* en de weerstand *R* geldt:

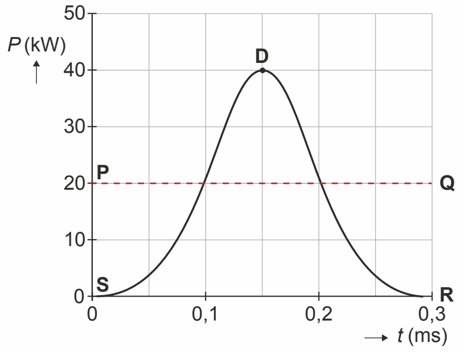
$P = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$ (Binas 35D1), zodat:

$P_{100} = \frac{(2{,}0 \cdot 10^3)^2}{100} = 4{,}0 \cdot 10^4 = 40$ kW en $P_{500} = \frac{(4{,}5 \cdot 10^3)^2}{500} = 4{,}05 \cdot 10^4 \approx 40$ kW

Beide waarden komen dus overeen met de maximale waarde van de (*P*,*t*)-grafiek in tekening 2 (punt D).



tekening 1



tekening 2

12
- De onbelaste uitgangsspanning is 8,0 kV (open circuit; punt C in tekening 1). Deze voldoet aan de norm.
- De duur van één puls is volgens tekening 1 en 2 net iets minder dan 0,3 ms. Ook dit voldoet dus aan de norm.
- De maximale stroomsterkte I_{max} volgt uit: $I_{max} = \frac{U_{max}}{R}$ (Binas 35D1), zodat:

  $I_{max,100} = \frac{2{,}0 \cdot 10^3}{100} = 20$ A (afgelezen in punt A van tekening 1)

  Dit voldoet niet aan de norm (de stroom mag maximaal 15 A zijn).

  $I_{max,500} = \frac{4{,}5 \cdot 10^3}{500} = 9{,}0$ A (afgelezen in punt B van tekening 1)

  Dit voldoet aan de norm (de stroom mag maximaal 15 A zijn).
- De energie *E* van één puls wordt in tekening 2 voorgesteld door de oppervlakte onder de grafiek ($E = P \cdot t$). Deze moet minder zijn dan 6 J. Nu wordt in tekening 2 een energie van 6,0 J voorgesteld door de oppervlakte van de rechthoek PQRS, waarvoor geldt: E = 20 kW · 0,30 ms = $(20 \cdot 10^3\ \text{W}) \cdot (0{,}30 \cdot 10^{-3}\ \text{s})$ = 6,0 J.
  De oppervlakte van deze rechthoek is duidelijk veel groter dan de oppervlakte onder de grafiek. Aan deze voorwaarde is dus voldaan.
  Je kunt uiteraard ook hokjes onder de grafiek tellen en vindt dan ongeveer 9 hokjes, zodat de energie van één puls ongeveer gelijk is aan:
  9 · 10 kW · 0,05 ms = $9 \cdot 10^4\ \text{W} \cdot 0{,}05 \cdot 10^{-3}$ *s = 4,5 J, maar dat is meer werk.*

Stad van de Zon

13 De totale oppervlakte *A* van de zonnepanelen berekenen we met:

$\eta = \frac{P_{piek}}{P_{in}}$ (Binas 35A4) $\Rightarrow P_{piek} = \eta \cdot P_{in} = A \cdot \eta \cdot I_{zon}$, waarin:

P_{piek} = piekvermogen van de zonnepanelen = 3,75 MW = $3{,}75 \cdot 10^6$ W
η = rendement van de zonnepanelen = 13% = 0,13
P_{in} = invallende vermogen van zonlicht bij 'volle zon' = $A \cdot I_{zon}$
I_{zon} = intensiteit van het zonlicht bij 'volle zon' = 1000 W m^{-2}

Invullen: $3{,}75 \cdot 10^6 = A \cdot 0{,}13 \cdot 1000 \Rightarrow A = \frac{3{,}75 \cdot 10^6}{0{,}13 \cdot 1000} = 2{,}9 \cdot 10^4\ \text{m}^2$

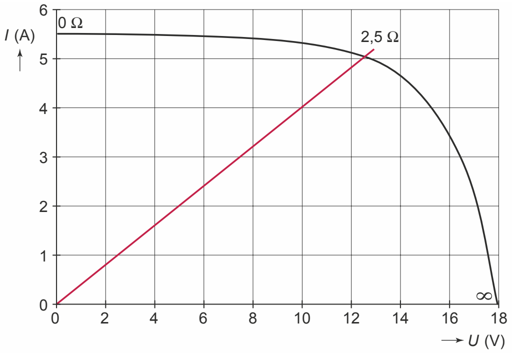
14 We berekenen de energie E_{paneel} die de zonnepanelen op jaarbasis leveren met:
$E_{paneel} = P \cdot t$ (Binas 35D1), waarin:
P = gemiddeld vermogen van de zonnepanelen = 10% van het piekvermogen = 0,10 · 3,75 MW = $0{,}375 \cdot 10^6$ W = $0{,}375 \cdot 10^3$ kW
t = 1 jaar = 365 · 24 h = 8760 h
Invullen: $E_{paneel} = 0{,}375 \cdot 10^3 \cdot 8760 = 3{,}29 \cdot 10^6$ kWh

methode 1
De wijk met 1600 huishoudens heeft op jaarbasis een hoeveelheid energie nodig van E_{wijk} = 1600 · 3656 kWh = $5{,}85 \cdot 10^6$ kWh
De zonnepanelen leveren op jaarbasis dus niet voldoende energie voor de huizen in de wijk.

methode 2
We berekenen het aantal huishoudens *n* dat voorzien kan worden met energie van de zonnepanelen met: $n = \frac{E_{paneel}}{E_{huis}}$, waarin:
E_{paneel} = $3{,}29 \cdot 10^6$ kWh
E_{huis} = gemiddeld energieverbruik per huishouden = 3656 kWh
Invullen: $n = \frac{3{,}29 \cdot 10^6}{3656} = 900$

Dit is kleiner dan 1600, dus de panelen leveren onvoldoende energie voor alle huishoudens in de wijk.

15 Zie tekening 1 (de ingetekende figuur 2).



tekening 1

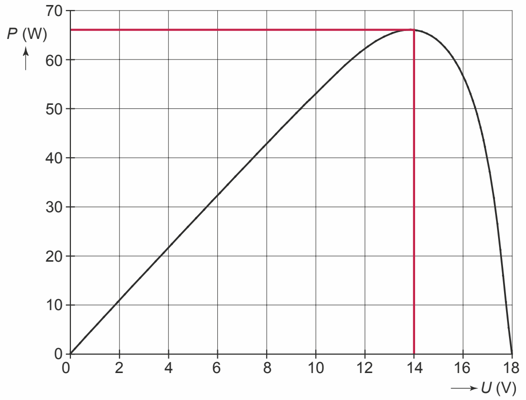
Het punt behorende bij een aangesloten weerstand van 2,5 Ω ligt op het snijpunt van de rechte lijn waarvoor geldt $\frac{U}{I}$ = 2,5 (Binas 35D1; wet van Ohm) en de curve in figuur 2.

Teken deze rechte door bijvoorbeeld de punten (0 V, 0 A) en (10 V, 4 A).

Als de aangesloten weerstand 0 is, wordt het zonnepaneel kortgesloten ⇒
⇒ de stroomsterkte is dan maximaal en de spanning zakt in.
Als de aangesloten weerstand oneindig groot is, kan er geen stroom lopen ⇒
⇒ de stroomsterkte is nul en de spanning is maximaal.

16 Het vermogen berekenen we met $P = U \cdot I$ (Binas 35D1), waarin U de spanning is en I de bijbehorende stroomsterkte. De waarden van I lezen we af in figuur 2.
Zie onderstaande tabel en tekening 2 met het gevraagde (P,U)-diagram, gemaakt met behulp van de tabelgegevens.

U (V)	I (A)	P (W)
0,0	5,50	0,0
2,0	5,50	11,0
6,0	5,45	32,7
10,0	5,30	53,0
14,0	4,70	65,8
16,0	3,45	55,2
18,0	0,00	0,0



tekening 2

We bepalen de weerstand R_{top} waarbij het vermogen maximaal is, met:

$R_{top} = \frac{U_{top}}{I_{top}}$ (Binas 35D1), waarin:

U_{top} = spanning bij maximaal vermogen = 14 V (afgelezen in tekening 2)
I_{top} = stroomsterkte bij een spanning van 14 V (afgelezen in figuur 1) = 4,6 A
Invullen: $R_{top} = \frac{14}{4{,}6} = 3{,}0\ \Omega$

Vol of leeg?

17 We berekenen de hoeveelheid energie E die de batterij kan leveren met:
$E = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$ (Binas 35D1), waarin:
P = vermogen van de batterij
U = door de batterij geleverde spanning = 1,5 V
I = stroomsterkte die de batterij gedurende 1 uur kan leveren = 2300 mA = 2,300 A
t = 1 uur = 3600 s
Invullen: $E = 1{,}5 \cdot 2{,}300 \cdot 3600 = 12 \cdot 10^3$ J = 12 kJ

18 De tijd t die de klok kan lopen, volgt uit:

$I \cdot t$ = 2300 mAh = 2,300 Ah ⇒ $t = \frac{2{,}300}{I}$ h, waarin:

I = stroomsterkte in de klok

Er geldt: $U = I \cdot R$ (wet van Ohm, Binas 35D1) ⇒ $I = \frac{U}{R}$, met:

U = door de batterij geleverde spanning = 1,5 V
R = weerstand van de klok = 12 kΩ = $12 \cdot 10^3$ Ω

zodat: $I = \frac{1{,}5}{12 \cdot 10^3} = 1{,}25 \cdot 10^{-4}$ A

Invullen: $t = \frac{2{,}300}{1{,}25 \cdot 10^{-4}}$ h = $1{,}84 \cdot 10^4$ h = $\frac{1{,}84 \cdot 10^4}{365 \cdot 24}$ jaar = 2,1 jaar

19 De strip bestaat uit 5 in serie geschakelde weerstanden, dus voor de weerstand R van de gehele strip geldt:
$R = R_{strook1} + R_{strook2} + R_{strook3} + R_{strook4} + R_{strook5}$ (Binas 35D1), waarin:
$R_{strook1}$ = 1,3 Ω
De weerstand van elk strookje is omgekeerd evenredig met de breedte van het strookje, dus:

$R = 1{,}3 + \frac{1{,}3}{2} + \frac{1{,}3}{3} + \frac{1{,}3}{4} + \frac{1{,}3}{5} = 3{,}0\ \Omega$

20 Voor de warmte Q die per seconde in een strookje wordt ontwikkeld, geldt:

$\frac{Q}{t} = P = U \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$ (Binas 35D1), waarin:

t = tijd = 1 s
P = vermogen dat in een strookje wordt ontwikkeld
U = spanning over het strookje
I = stroomsterkte in het strookje
R = weerstand van het strookje
De stroomsterkte I is in elk strookje hetzelfde.
Het smalste strookje heeft de grootste weerstand R, dus aan de smalle kant van de strip wordt per seconde meer warmte ontwikkeld dan aan de brede kant.
De temperatuur zal dus aan de smalle kant het hoogst zijn.

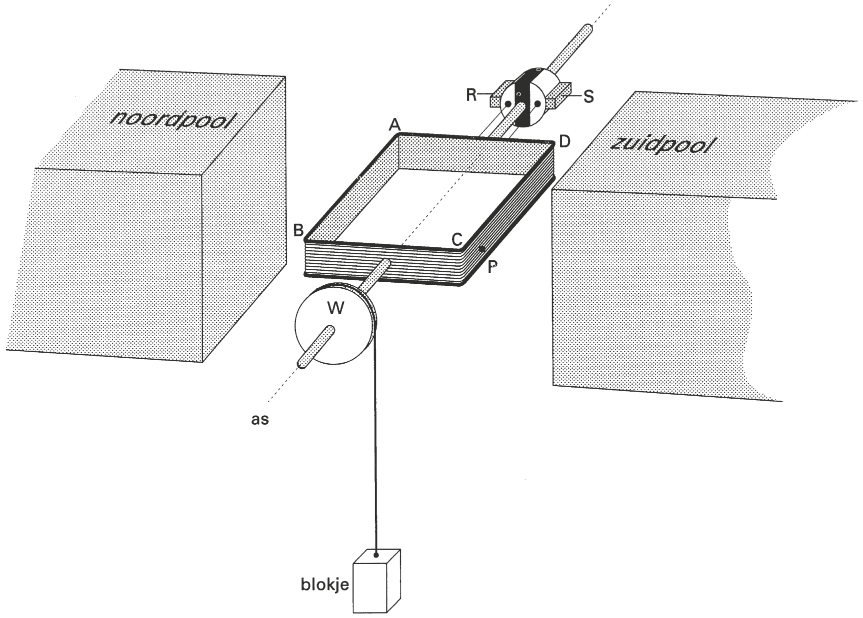
21 Bij een spanning U van 9 V is de stroomsterkte I door de strip groter ($I = \frac{U}{R}$, wet van Ohm; Binas 35D1), waardoor er meer warmte Q wordt ontwikkeld ($Q = I^2 \cdot R \cdot t$; Binas 35D1). Om dezelfde hoeveelheid warmte te krijgen, moet de stroomsterkte I kleiner worden en de weerstand R van de strip dus groter.
Daarvoor zouden de volgende wijzigingen kunnen worden aangebracht:
- de strip wordt gemaakt van een materiaal met een grotere soortelijke weerstand
- de strip wordt over de hele lengte dunner (platter) gemaakt
- de strip wordt over de hele lengte smaller gemaakt.

8 Elektrische en magnetische velden (domein D2)

Elektromotor

In figuur 1 staat een schematische, sterk vereenvoudigde tekening van een elektromotor. Doordat de elektromotor draait, wordt een blokje omhoog gehesen.

figuur 1



Het wieltje W en de spoel ABCD zijn bevestigd aan de as van de elektromotor. Bij het omhoog hijsen wordt het koord waaraan het blokje hangt om het wieltje gewonden. Zijde CD van de spoel is 3,6 cm lang, zijde BC is 3,0 cm lang. R en S zijn verbonden met een gelijkspanningsbron. Tussen de noordpool en de zuidpool bevindt zich een homogeen magneetveld. Op zijde CD van de spoel is een punt P getekend.

1 Teken in punt P de magnetische inductie $\vec{B}$, de lorentzkracht $\vec{F}_L$ op de spoel en de stroomsterkte $\vec{I}$ door de spoel tijdens het omhoog hijsen van het blokje.

Bij een bepaalde stroomsterkte door de spoel is de lorentzkracht op zijde CD in de getekende situatie 1,6 N.
De spoel heeft 50 windingen. De grootte van de magnetische inductie is 0,25 T.

2 Bereken de grootte van de stroomsterkte.

3 Laat met behulp van een grafiek zien hoe de lorentzkracht F_L op de zijde CD van de spoel verandert gedurende één omwenteling van de spoel. Zet langs de horizontale as de tijd uit en langs de verticale as de lorentzkracht. Neem de getekende situatie in figuur 1 als beginpositie.

©ThiemeMeulenhoff

De gelijkspanningsbron wordt nu weggehaald. Men wil vervolgens met dezelfde opstelling een lampje laten branden; de elektromotor wordt nu als dynamo gebruikt. Bij het uitvoeren van de proef zal het lampje heel even branden.

4 Beschrijf nauwkeurig hoe deze proef moet worden uitgevoerd en leg uit waarom het lampje gaat branden. Gebruik bij deze uitleg het begrip magnetische flux.

Karretje in een magnetisch veld

Twee hoefmagneten staan met de ongelijknamige polen naast elkaar opgesteld.
In een horizontaal vlak tussen de benen van de hoefmagneten bevinden zich twee evenwijdige koperen rails, waarover een karretje kan rollen. Zie figuur 1.
De as en de wielen aan de rechterkant van de kar zijn geleidend; die aan de linkerkant zijn niet geleidend. De massa van de assen en de wielen is te verwaarlozen ten opzichte van de massa van de kar.
Het verloop van de magnetische veldsterkte B langs de rails is weergegeven in figuur 2. Daarbij is gebruik gemaakt van een x-as die samenvalt met de voorste rail.
De oorsprong O ligt in het midden van die rail.
De magnetische veldsterkte is in alle punten van de geleidende as even groot.
De uiteinden K en L van de rails worden zó aangesloten op een gelijkspanningsbron, dat de kar vanuit de in figuur 1 getekende stand naar links gaat bewegen.

5 Leg uit of het uiteinde L van de achterste rail is verbonden met de positieve of met de negatieve pool van de spanningsbron.

De wrijvingskracht op de kar wordt verwaarloosd.
De stroomsterkte door de geleidende as is 30 A. De spanningsbron houdt de stroomsterkte door die as constant, ook als de kar beweegt.
De afstand tussen de rails is 5,0 cm. De massa van de kar is 140 g.

6 Leg uit dat de kar een trilling gaat uitvoeren.

7 Beredeneer met behulp van figuur 2 wat de grootste afstand tussen O en de geleidende as is waarbij de kar, nadat hij is losgelaten, *harmonisch* gaat trillen.

De punten P en Q liggen respectievelijk 6,0 cm en 3,0 cm rechts van O.
De kar wordt nu losgelaten met de geleidende as bij P.

8 Bereken de snelheid van de kar op het moment dat de geleidende as Q passeert.

De spanningsbron wordt nu verwijderd, waarna de punten K en L op een ideale voltmeter worden aangesloten. De kar wordt uiterst rechts op de rails geplaatst en krijgt vervolgens een korte duw in de richting van O.
De geleidende as passeert Q met een snelheid van 0,40 m s^{-1} naar links.
Voor de hoogte van de inductiespanningspiek U_{ind} geldt:

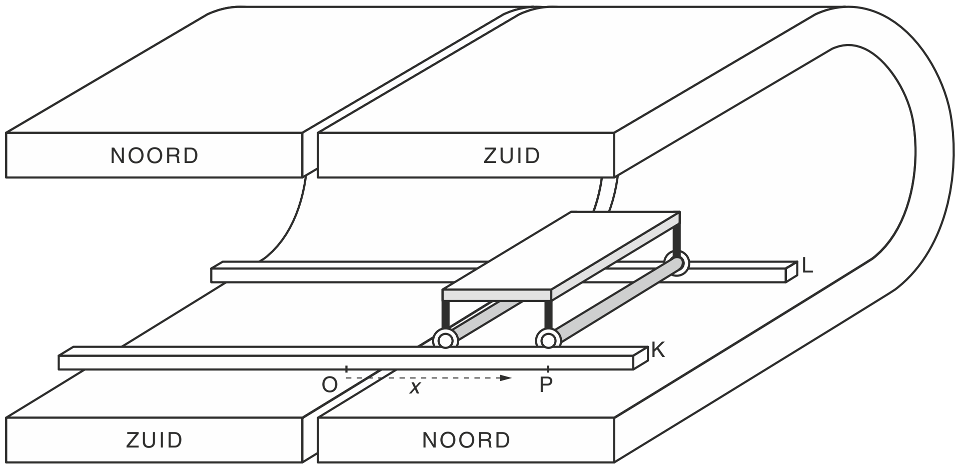
$$U_{ind} = \frac{d\Phi}{dt}, \text{ waarin:}$$

$d\Phi$ = fluxverandering in de spoel
dt = tijdsduur van de fluxverandering

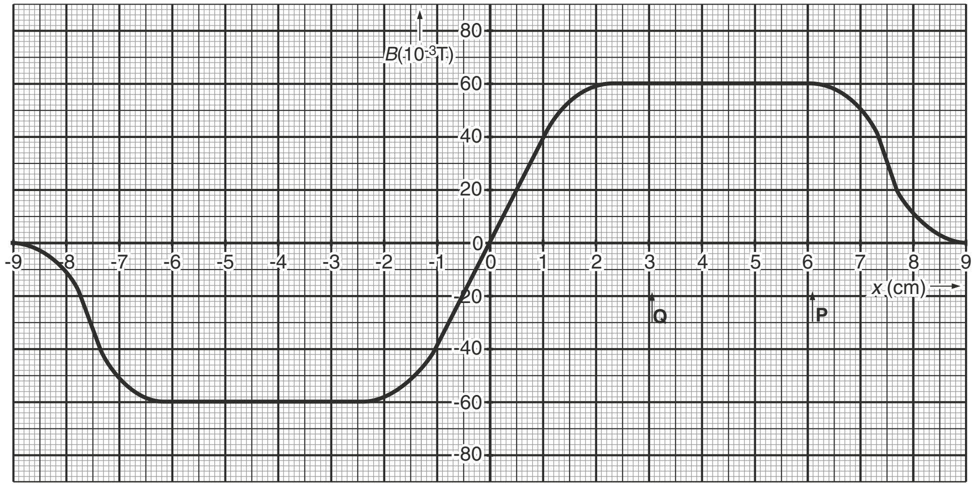
9 Bepaal de grootte van de spanning die de voltmeter op dat moment aanwijst.

©ThiemeMeulenhoff

figuur 1



figuur 2

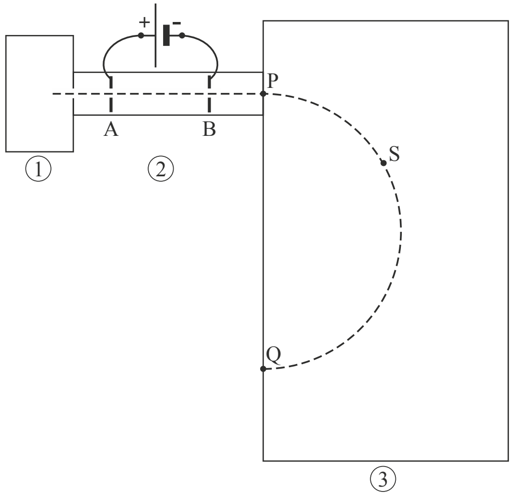


©ThiemeMeulenhoff

Massaspectrometer

Lood in ertsen uit mijnen bestaat voornamelijk uit de isotopen lood-206, lood-207 en lood-208. De herkomst van lood in loden voorwerpen is daarom vaak te bepalen uit de verhouding waarin deze isotopen voorkomen.
Om na te gaan of een bepaalde isotoop in een stofmengsel aanwezig is, kan een massaspectrometer gebruikt worden. In figuur 1 wordt een massaspectrometer schematisch weergegeven.

figuur 1



Het stofmengsel wordt eerst gasvormig gemaakt en daarna onder lage druk in de ionisatieruimte (1) gebracht. De geïoniseerde moleculen of atomen komen vervolgens in een vacuümruimte (2). Hierin worden ze door een elektrisch veld versneld.
In ruimte (3) worden ze door een magnetisch veld afgebogen en ten slotte in punt Q gedetecteerd.

Een mengsel met éénwaardige positieve ionen van lood-206, lood-207 en lood-208 komt met een te verwaarlozen beginsnelheid in ruimte (2). De ionen worden in het elektrisch veld tussen de platen A en B versneld. Tussen B en P veranderen de snelheden niet meer.

10 Beredeneer welke van de drie isotopen in P de grootste snelheid heeft.

Vervolgens worden de deeltjes afgebogen door het magnetisch veld. De ionen doorlopen een halve cirkelbaan.

11 Bepaal in figuur 1 de richting van het magnetisch veld in ruimte (3). Geef daartoe eerst in punt S de richtingen aan van de snelheid en de lorentzkracht.

©ThiemeMeulenhoff

In punt Q worden de ionen gedetecteerd. Uit de sterkte van het magnetisch veld B en de versnelspanning U_{AB} kan worden afgeleid om welke isotoop het gaat.
De massa van een isotoop kan worden berekend met de volgende formule:

$$m = \frac{B^2 q r^2}{2U_{AB}}$$

Hierin is:
- B de sterkte van het magnetisch veld;
- q de lading van het ion;
- r de straal van de cirkelbaan;
- U_{AB} de versnelspanning.

12 Leid deze formule af uit formules die in Binas staan.

De sterkte van het magnetisch veld wordt ingesteld op 0,182 T.
De afstand PQ bedraagt 56,0 cm.
De massa van een lood-207-ion is $3{,}437 \cdot 10^{-25}$ kg.

13 Bereken de versnelspanning waarbij lood-207-ionen in de detector in punt Q terechtkomen.

Satelliet met tether

Een satelliet cirkelt rond de aarde.

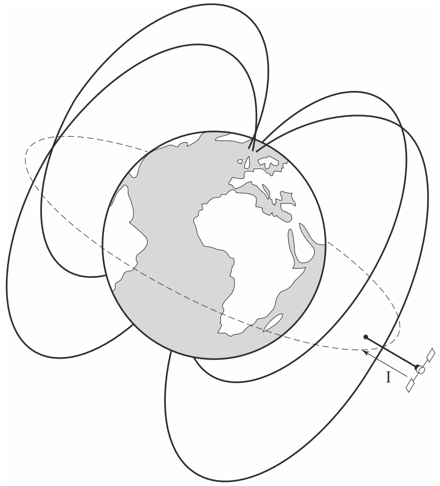
Een satelliet die door de buitenste lagen van de atmosfeer rondcirkelt, ondervindt een kleine wrijvingskracht. Als hij geen aandrijfmotor heeft, zal hij daardoor in een steeds lagere baan rond de aarde gaan cirkelen en uiteindelijk op de aarde neerstorten.

Wetenschappers onderzoeken of het mogelijk is om een satelliet zonder brandstof op 400 km hoogte te houden met een zogenaamde tether. Een tether is een lange, elektrisch geïsoleerde, metalen kabel die uit de satelliet richting aarde hangt. Onderaan de tether zit een metalen bol die lading uitwisselt met de ionosfeer. Zie figuur 1.

figuur 1

Figuur 2 geeft de positie weer van zo'n satelliet met een tether in een baan om de aarde. Doordat de tether zich in het aardmagnetisch veld bevindt, ontstaat er een lorentzkracht die de satelliet voortstuwt in zijn bewegingsrichting.
De richting van de stroom in de tether is aangegeven.

figuur 2



14 Beredeneer in welke richting de satelliet in figuur 2 beweegt, in oostelijke of in westelijke richting.
Teken daartoe in figuur 2 de richtingen van het magnetisch veld van de aarde en van de lorentzkracht bij de tether.

De wrijvingskracht op de satelliet bedraagt 4,7 mN.
De sterkte van het magneetveld van de aarde bij de tether is 8,4 μT.
De stroomsterkte in de tether is 1,1 A.

15 Bereken de lengte die de tether moet hebben om de satelliet op gelijke hoogte met constante snelheid te laten bewegen.

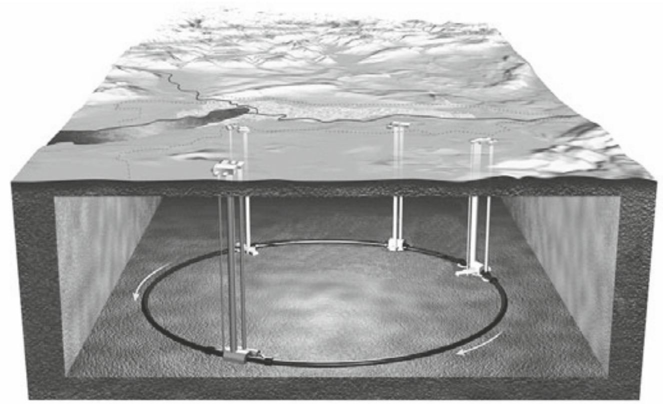
Er bestaan ook zogenoemde 'polaire' satellieten waarbij de baan over de Noord- en Zuidpool van de aarde loopt.

16 Leg uit of deze manier van voortstuwen met een tether ook bij polaire satellieten kan werken.

LHC

Lees het krantenartikel.

Large Hadron Collider (LHC) geopend
Wetenschappers zijn al jaren op zoek naar het zogenaamde Higgs-deeltje.
Om dit te vinden, is in de buurt van Genève in het voorjaar van 2010 de Large Hadron Collider (LHC) in gebruik genomen. Deze ondergrondse deeltjesversneller is met een diameter van maar liefst 8,4858 km de grootste ter wereld.



In de LHC worden protonen versneld tot bijna de lichtsnelheid.
De LHC bestaat uit een ondergrondse ring met daarin twee dicht naast elkaar gelegen cirkelvormige buizen. In de twee buizen gaan twee bundels protonen rond in tegengestelde richting.
Als ze door het versnellen een energie van 7,0 TeV (tera-elektronvolt) hebben gekregen, laten de wetenschappers de protonen in een detector tegen elkaar botsen.
Tijdens de botsing ontstaan allerhande elementaire deeltjes. Hierbij hopen de wetenschappers het Higgs-deeltje te vinden.

Voordat de protonen in de ring van de LHC binnenkomen, worden ze eerst in een lineaire versneller versneld. (Deze versneller is niet te zien in de figuur in het artikel.) Daarbij doorlopen de protonen een groot aantal malen een elektrische spanning van 5,0 kV.

17 Bereken hoe vaak de protonen deze spanning moeten doorlopen om een snelheid van $1{,}2 \cdot 10^7$ m s^{-1} te krijgen als ze vanuit stilstand versneld worden.

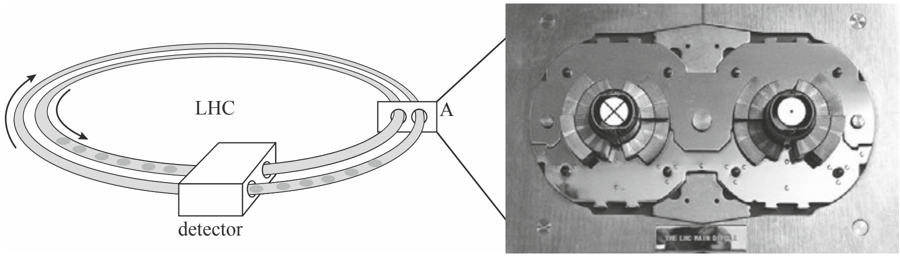
Voordat de protonen in de grote ring komen, worden ze in twee bundels gesplitst. Daarna worden de protonen versneld totdat ze 11245 maal per seconde de ring doorlopen.

18 Bereken hoeveel procent de snelheid van de protonen dan verschilt van de lichtsnelheid.

In de ring bevinden zich twee buizen waarin de protonen in tegengestelde richting bewegen. Dit is schematisch weergegeven in figuur 1.
Rechts in figuur 1 zie je een foto van de dwarsdoorsnede bij punt A.

©ThiemeMeulenhoff

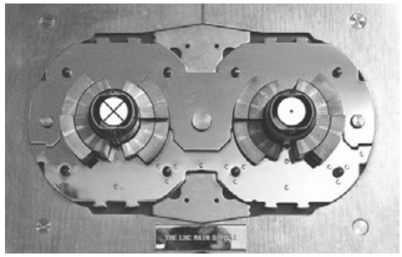
figuur 1



De protonen worden in de buizen in een cirkelbaan gehouden door sterke elektromagneten om de buizen.
In figuur 1 is aangegeven dat de protonen in de rechterbuis naar je toe bewegen (⊙)en in de linkerbuis van je af (⊗).
Het rechterdeel van figuur 1 staat ook op de uitwerkbijlage.

19 Teken in de figuur hierna de richtingen van de magneetvelden in elke buis afzonderlijk.

uitwerkbijlage bij vraag 19



Voor een proton met een energie van 7,0 TeV dat rondgaat in een buis geldt voor de middelpuntzoekende kracht:

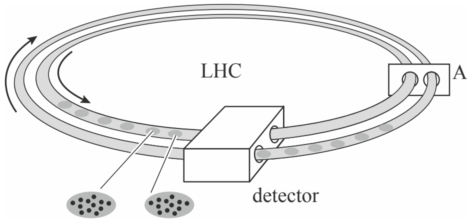
$$F_{mpz} = \frac{E}{r}$$

Hierin is:
– E de energie van het proton,
– r de straal van de baan.

20 Bereken de sterkte van het magneetveld.

De protonen gaan in groepjes door de buizen. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2.

figuur 2



In één buis bewegen 2808 groepjes protonen. Hierdoor is in die buis de stroomsterkte gelijk aan 0,582 A.

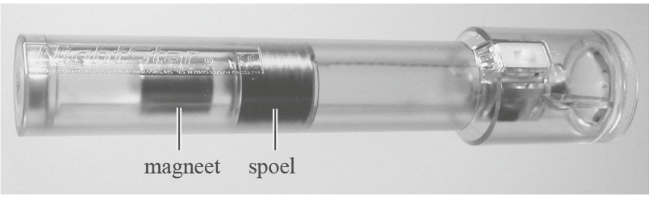
21 Bereken hoeveel protonen er in één groepje zitten.

©ThiemeMeulenhoff

Schudlamp

Een schudlamp is een lamp die licht kan geven nadat je hem hebt heen en weer geschud. Zie figuur 1.

figuur 1



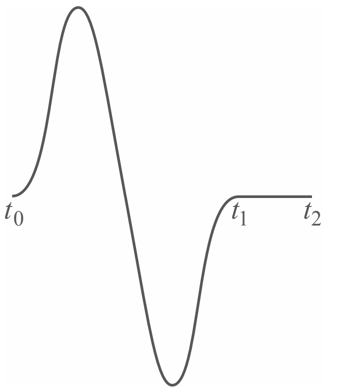
In het handvat zit een vaste spoel. Bij het schudden gaat een magneet door deze spoel heen en weer. Hierdoor wordt in de spoel een inductiespanning opgewekt.

22 Leg uit dat er zowel een positieve als een negatieve spanning ontstaat als de magneet één keer door de spoel gaat.

In figuur 2 is het verloop van de inductiespanning getekend tussen de tijdstippen t_0 en t_1.
Tussen deze tijdstippen bewoog de magneet van links naar rechts door de spoel.
Vanaf het tijdstip t_2 bewoog de magneet twee keer zo langzaam terug van rechts naar links.

23 Schets in figuur 2 het verloop van de inductiespanning vanaf het tijdstip t_2.

figuur 2



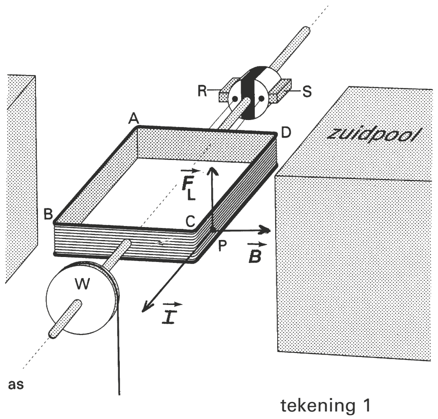
Hints bij hoofdstuk 8

1 Gebruik de linkerhandregel.
2 Voor lorentzkracht: zie Binas tabel 35D3.
3 De elektrische stroom wisselt van richting en is soms even nul .
4 De magnetische flux verandert voortdurend als het spoeltje draait.
5 Welke richting heeft de lorentzkracht en welke richting heeft de elektrische stroom?
6 Wat geldt voor de lorentzkracht op het karretje links van O en wat rechts van O?
7 Wat is het verband tussen de terugdrijvende kracht en de uitwijking bij een harmonische trilling?
8 Voor de wet van arbeid en kinetische energie: zie Binas tabel 35A4.
9 Er is evenwicht tussen de elektrische kracht op een elektron en de lorentzkracht.
10 Elektrische energie wordt omgezet in kinetische energie.
11 Gebruik de linkerhandregel.
12 De middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de lorentzkracht.
13 Gebruik de formule die je bij vraag 12 moest afleiden.
14 Gebruik de linkerhandregel.
15 Wat is de formule van de lorentzkracht op een rechte stroomdraad?
16 Let eens op het verschil tussen F_L bij de polen en bij de evenaar.
17 Welke energieomzetting vindt er plaats in de lineaire versneller?
18 Hoe lang doet een proton over één omwenteling?
19 Gebruik de linkerhandregel.
20 Zie Binas 35D3.
21 $Q = I \cdot t$.
22 Wat gebeurt er met het teken van de fluxverandering $\Delta\Phi$?
23 De inductiespanning U_{ind} hangt af van de fluxverandering $\Delta\Phi$ en van de tijd Δt.

Uitwerkingen bij hoofdstuk 8

Elektromotor

1 Zie tekening 1.
- De magnetische inductie $\vec{B}$ is gericht van de noordpool naar de zuidpool, dus naar *rechts*.
- Het blokje wordt omhoog gehesen, dus het spoeltje draait linksom ⇒ de lorentzkracht $\vec{F}_L$ in P is *omhoog* gericht.
- Volgens de linkerhandregel is de stroomsterkte $\vec{I}$ in P loodrecht het *papier uit* gericht.
  (De linkerhandregel: vang in de palm van de linkerhand de veldlijnen van het magnetisch veld $\vec{B}$ op, en volg de stroom $\vec{I}$ met de vingers van die hand. De duim wijst nu de richting van $\vec{F}_L$ aan.).



tekening 1

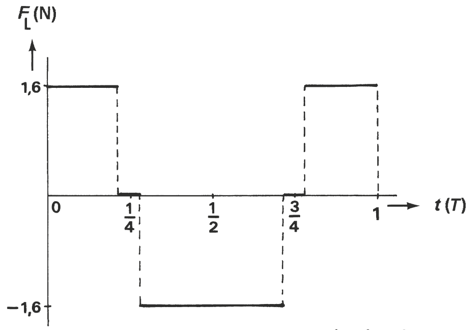
2 De grootte van de stroomsterkte I berekenen we met:

$F_L = N \cdot B \cdot I \cdot \ell$ (Binas 35D3) ⇒ $I = \dfrac{F_L}{N \cdot B \cdot \ell}$, waarin:

F_L = lorentzkracht op de zijde CD = 1,6 N
N = aantal windingen van de spoel = 50
B = magnetische inductie = 0,25 T
ℓ = CD = 3,6 cm = $3{,}6 \cdot 10^{-2}$ m

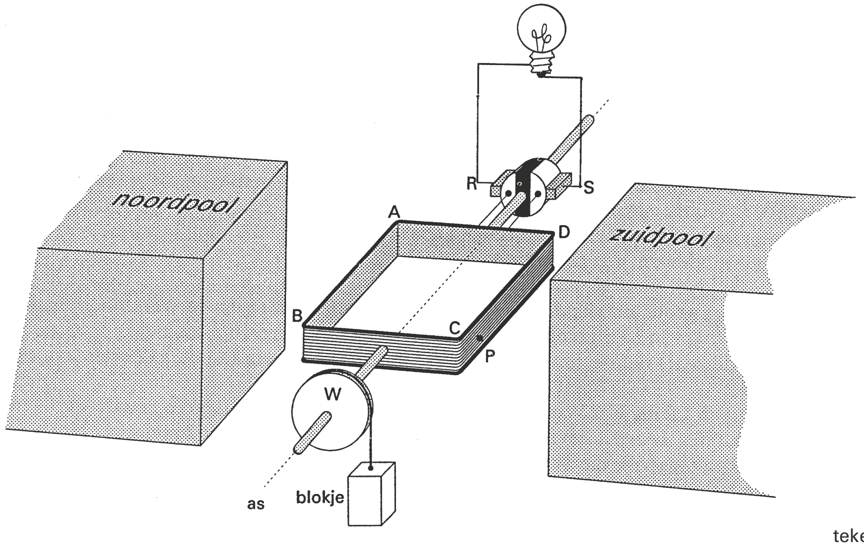
Invullen: $I = \dfrac{1{,}6}{50 \cdot 0{,}25 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-2}} = 3{,}6$ A

3 Zie tekening 2.
Op $t = 0$ is $\vec{F}_L$ omhoog gericht (zie tekening 1) ⇒ $F_L = +1{,}6$ N.
Vlak voordat de spoel een kwartslag gedraaid is, zijn R en S tijdelijk even niet verbonden met de spoel, maar met het isolerende tussenstuk van de collector (in tekening 1 zwart). De stroom I door de spoel is dan even nul en de lorentzkracht F_L dus ook.
Vervolgens zijn R en S bijna een halve omwenteling (van ongeveer $\frac{1}{4}T$ tot $\frac{3}{4}T$) zo op de collectorpolen aangesloten, dat de stroom in de spoel tegengesteld is aan de stroom op $t = 0$. Dus $\vec{F}_L$ is nu naar beneden gericht ($F_L = -1{,}6$ N). Vervolgens is F_L weer even nul (R en S zijn weer aangesloten op de isolatie) en daarna (vlak na $t = \frac{3}{4}T$) is de situatie weer zoals op $t = 0$.
Gedurende de tijd dat er een stroom I door de spoel loopt is de grootte van de lorentzkracht F_L constant, want de spoel draait in een homogeen magneetveld B ($F_L = B \cdot I \cdot \ell$, Binas 35D3, waarin B, I en ℓ constant zijn).



tekening 2

4 Zie tekening 3.

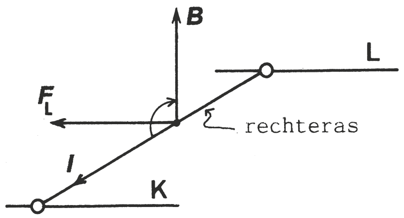


tekening 3

Het lampje sluit je aan tussen R en S. Je hijst het blokje op. Daarna laat je het blokje los. Tijdens het dalen van het blokje draait de spoel rond in het magneetveld. Daardoor verandert de magnetische flux door de spoel voortdurend. Er wordt dus een inductiestroom opgewekt in de spoel, waardoor het lampje gaat branden.
Het branden van het lampje is in overeenstemming met de wet van behoud van energie: zwaarte-energie van het blokje wordt gedeeltelijk omgezet in elektrische energie in het lampje.

Karretje in een magnetisch veld

5 Het karretje beweegt naar links dus de lorentzkracht F_L op de rechteras is naar links gericht (zie de tekening).
B is verticaal omhoog gericht (van de noordpool naar de zuidpool van de magneet). Volgens de linkerhandregel is de stroomsterkte I dan het papier *uit* gericht, dus L moet worden verbonden met de positieve pool van de spanningsbron (de elektrische stroom loopt van + naar –).



6 Vanuit de in figuur 1 getekende stand gaat de kar door de lorentzkracht F_L versneld naar links bewegen. Op het moment dat de rechteras in de oorsprong is gekomen, is F_L afgenomen tot nul. De snelheid van de kar is dan maximaal.
Links van de oorsprong is B de andere kant uit gericht (verticaal omlaag) dus F_L is daar naar rechts gericht; de kar wordt vertraagd en komt tot stilstand. Vervolgens beweegt de kar weer versneld naar rechts, wordt rechts van de oorsprong weer vertraagd, enz.
De kar gaat dus een trilling om O uitvoeren.

7 Voor een harmonische trilling geldt:

$F \sim x$ (F = kracht en x = uitwijking)
In deze situatie is: $F = F_L = B \cdot I \cdot \ell \;\Rightarrow\; F \sim B$
(ℓ = afstand tussen de rails; I en ℓ zijn constant)
$\Rightarrow$ De kar voert een harmonische trilling uit als $B \sim x$

Uit figuur 2 lezen we af dat $B \sim x$ voor $-1{,}0 \le x \le 1{,}0$ cm (de grafiek is in dit geval een rechte lijn door de oorsprong).
De grootste afstand tussen O en de geleidende as, waarbij de kar na loslaten nog net harmonisch gaat trillen, is dus 1,0 cm.

8 De snelheid v van de kar op het moment dat de geleidende as Q passeert, berekenen we met de wet van kinetische energie en arbeid:
$W_{op} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$ (Binas 35A4), waarin $v_0 = 0$, dus:

$$W_{op} = F_L \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \;\Rightarrow\; v^2 = \frac{2 \cdot F_L \cdot s}{m} \;\Rightarrow\; v = \sqrt{\frac{2 \cdot F_L \cdot s}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot B \cdot I \cdot \ell \cdot s}{m}}\text{, waarin:}$$

F_L = lorentzkracht op de kar
B = magnetische veldsterkte op het interval $3{,}0 \le x \le 6{,}0$ cm = $60 \cdot 10^{-3}$ T (afgelezen in figuur 2)
I = stroomsterkte = 30 A
ℓ = afstand tussen de rails = $5{,}0 \cdot 10^{-2}$ m
s = afstand tussen P en Q = (6,0 – 3,0) cm = 3,0 cm = $3{,}0 \cdot 10^{-2}$ m
m = massa van de kar = $140 \cdot 10^{-3}$ kg

Invullen: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-2}}{140 \cdot 10^{-3}}} = 0{,}20 \text{ m s}^{-1}$

9 Voor de hoogte van de inductiespanningspiek U_{ind} geldt:

$U_{ind} = \frac{d\Phi}{dt}$, waarin:
$d\Phi$ = fluxverandering in de spoel = $B_\perp \cdot \Delta A$ (Binas 35D3), met:
- $B_\perp$ = component van het magnetische veld loodrecht op de spoel = $60 \cdot 10^{-3}$ T (afgelezen in figuur 2)
- ΔA = verandering van de oppervlakte van de stroomkring die wordt gevormd door de rails en de as van het karretje = $v \cdot dt \cdot$ *aslengte* (Binas 35A1), met:
  - v = snelheid van het karretje in punt Q = $0{,}40 \text{ m s}^{-1}$
  - dt = tijdsduur van de fluxverandering
  - *aslengte* = 0,050 m
  - zodat: $\Delta A = 0{,}40 \cdot dt \cdot 0{,}050$
- zodat: $d\Phi = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}40 \cdot dt \cdot 0{,}050$

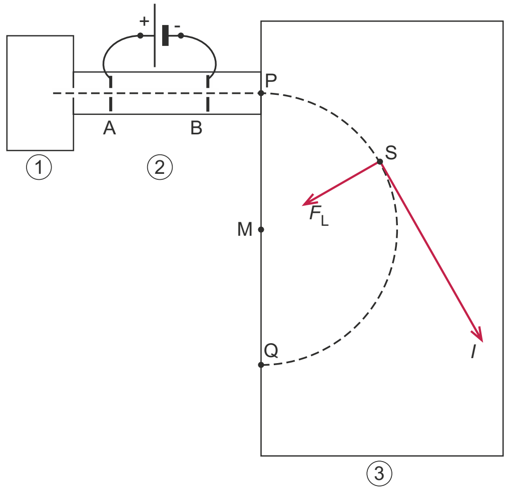
dt = tijdsduur van de fluxverandering

Invullen: $U_{ind} = \frac{60 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}40 \cdot dt \cdot 0{,}050}{dt} = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}40 \cdot 0{,}050 = 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ V

Massaspectrometer

10 Als een ion wordt versneld, geldt voor de toename ΔE_k van de bewegingsenergie van het ion: $|\Delta E_{el}| = \Delta E_k \;\Rightarrow\; q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35D2 en 35A4), waarin:
ΔE_{el} = toegevoerde elektrische energie
q = lading van het ion
U_{AB} = versnelspanning
m = massa van het ion
v = snelheid van het ion nadat het elektrisch veld is doorlopen
De lading q en de versnelspanning U_{AB} zijn voor alle ionen hetzelfde. Dan zullen dus de ionen met de kleinste massa m de grootste snelheid v krijgen.
Dus lood-206 heeft de grootste snelheid.

11 Zie de tekening.
In het punt S is de richting van de snelheid van de (positieve) ionen de richting van de raaklijn aan de baan. Dit is dus tevens de richting van de stroom $\vec{I}$.
De lorentzkracht $\vec{F}_L$ levert de middelpuntzoekende kracht en is gericht naar het middelpunt M van de cirkelbaan.
Volgens de linkerhandregel is het magnetisch veld $\vec{B}$ dan vanuit het vlak van tekening omhoog gericht.



12 Als het deeltje wordt versneld, wordt elektrische energie ΔE_{el} omgezet in bewegingsenergie ΔE_k:
$|\Delta E_{el}| = \Delta E_k \;\Rightarrow\; q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35D2 en 35A4).............................(1)
De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} is hier de lorentzkracht F_L:
$F_{mpz} = F_L \;\Rightarrow\; \frac{m \cdot v^2}{r} = B \cdot q \cdot v$ (Binas 35A2 en 35D3) $\;\Rightarrow\; v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m}$
Invullen in (1) geeft:

$$q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \frac{B^2 \cdot q^2 \cdot r^2}{m^2} \;\Rightarrow\; m = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot U_{AB}}$$

13 We berekenen de versnelspanning U_{AB} met

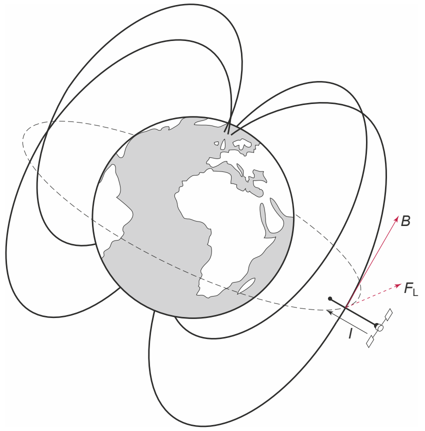
$m = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot U_{AB}} \;\Rightarrow\; U_{AB} = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot m}$, waarin:
B = sterkte van het magnetisch veld = 0,182 T
q = lading van het deeltje = $+e$ = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)
r = straal van de cirkelbaan = $\frac{1}{2} \cdot PQ = \frac{1}{2} \cdot 56{,}0$ cm = $28{,}0 \cdot 10^{-2}$ m
m = massa van een lood-207-ion = $3{,}437 \cdot 10^{-25}$ kg

Invullen: $U_{AB} = \frac{(0{,}182)^2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot (28{,}0 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 3{,}437 \cdot 10^{-25}} = 605$ V

Satelliet met tether

14 Zie de tekening (een gedeelte van de ingetekende figuur 2).

- In de tekening is met een B de richting van het aardmagnetisch veld aangegeven ter plaatse van de tether.
  De magnetische veldlijnen van de aarde lopen van zuidpool naar noordpool.
- Volgens de linkerhandregel werkt er op de tether een lorentzkracht naar achteren, dus naar het oosten.
- Om voordeel te hebben van die lorentzkracht moet de satelliet dus ook naar het oosten bewegen.



15 De lengte ℓ van de tether vinden we uit:
$F_w = F_L = B \cdot I \cdot \ell$ (Binas 35D3), waarin:
F_w = wrijvingskracht = 4,7 mN = $4{,}7 \cdot 10^{-3}$ N
F_L = lorentzkracht
B = sterkte van het magnetisch veld = 8,4 μT = $8{,}4 \cdot 10^{-6}$ T
I = stroomsterkte in de tether = 1,1 A

Invullen: $4{,}7 \cdot 10^{-3} = 8{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}1 \cdot \ell \Rightarrow \ell = \dfrac{4{,}7 \cdot 10^{-3}}{8{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}1} = 5{,}1 \cdot 10^{2}$ m

16 Zie de tekening.

- Als de satelliet over de (magnetische) polen vliegt, dan ondervindt hij geen lorentzkracht, omdat daar de elektrische stroom en het magneetveld dezelfde of tegengestelde richting hebben.
- Als de satelliet over de evenaar vliegt, dan ondervindt hij een lorentzkracht in oostelijke richting en wordt niet versneld, maar afgebogen.
- In elk ander punt van de baan is er altijd afbuiging (naar het oosten), maar geen versnelling in zijn baan. $\vec{F}_L$ staat namelijk altijd loodrecht op het vlak door de veldlijn, die aan de baan raakt en dus ook loodrecht op het vlak waarin de baan ligt.

LHC

17 Als n het aantal malen is dat de protonen deze spanning moeten doorlopen om een snelheid te krijgen van $1{,}2 \cdot 10^{7}$ m s^{-1}, geldt:
$|n \cdot E_{el}| = \Delta E_k \Rightarrow n \cdot (q \cdot U) = \Delta\left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2\right)$ (Binas 35D2), waarin:
E_{el} = afname van de elektrische energie van een proton als het een spanning van 5,0 kV heeft doorlopen
ΔE_k = toename van de kinetische energie van een proton in de lineaire versneller
q = lading van een proton = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)
U = elektrische spanning = 5,0 kV = $5{,}0 \cdot 10^{3}$ V
m = rustmassa van een proton = $1{,}673 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7A)
v = snelheid van een proton nadat het in de lineaire versneller is versneld = $1{,}2 \cdot 10^{7}$ m s^{-1}

Invullen: $n \cdot (1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{3}) = \frac{1}{2} \cdot (1{,}673 \cdot 10^{-27} \cdot 1{,}2 \cdot 10^{7})^2 \Rightarrow n = 1{,}5 \cdot 10^{2}$

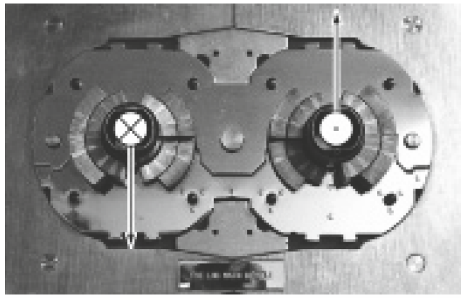
18 We berekenen de snelheid v van een proton als het 11245 maal per seconde de ring doorloopt met: $v = \frac{s}{T}$ (Binas 35A1), waarin:
s = afstand die een proton aflegt bij één omwenteling = $\pi \cdot d$ (Binas 36.12), met
d = diameter van de ring = 8,4858 km = $8{,}4858 \cdot 10^{3}$ m
zodat: $s = \pi \cdot 8{,}4858 \cdot 10^{3}$ m
T = tijd die een proton doet over één omwenteling.
Er geldt: $T = \frac{1}{f}$ (Binas 35B1), met f = aantal malen dat een proton per seconde de ring doorloopt = 11245 s^{-1}, zodat: $T = \frac{1}{11245}$ s

Invullen: $v = \dfrac{\pi \cdot 8{,}4858 \cdot 10^{3}}{\frac{1}{11245}} = 2{,}99780 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}

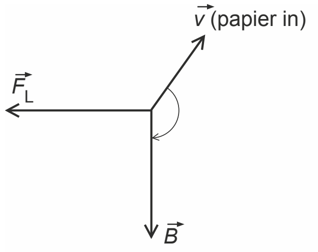
De lichtsnelheid $c = 2{,}99792 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A), dus het verschil in snelheid is $(2{,}99792 - 2{,}99780) \cdot 10^{8} = 0{,}00012 \cdot 10^{8} = 1{,}2 \cdot 10^{4}$ m s^{-1}

Dat is $\dfrac{1{,}2 \cdot 10^{4}}{2{,}99792 \cdot 10^{8}} \cdot 100\% = 0{,}004\%$ verschil met de lichtsnelheid.

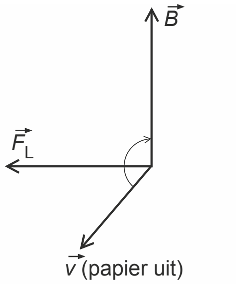
19 In de linkerbuis bewegen de protonen van ons af (het papier in, zie tekening 1). Om ze in een cirkelbaan te houden moet er een lorentzkracht $\vec{F}_L$ naar links werken (zie punt A in figuur 2). Volgens de linkerhandregel werkt er dan een magnetisch veld $\vec{B}$ omlaag (zie tekening 2).
De richting van de stroom $\vec{I}$ komt overeen met de richting van de snelheid $\vec{v}$ van de positieve protonen.



tekening 1



tekening 2



tekening 3

In de rechterbuis bewegen de protonen naar ons toe (het papier uit, zie tekening 1). Om ze in een cirkelbaan te houden moet er een lorentzkracht $\vec{F}_L$ naar links werken (zie punt A in figuur 2).
Volgens de linkerhandregel werkt er dan een magnetisch veld $\vec{B}$ omhoog (zie tekening 3).

20 We berekenen de sterkte B van het magnetisch veld met:

$F_{mpz} = \frac{E}{r} = B \cdot q \cdot v$ (Binas 35D3) $\Rightarrow B = \frac{E}{r \cdot q \cdot v}$, waarin:

F_{mpz} = middelpuntzoekende kracht
E = energie van de protonen = 7,0 TeV = $7{,}0 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ J (Binas 2 en 5) = $= 1{,}12 \cdot 10^{-6}$ J
r = straal van de cirkelbaan = $\frac{1}{2} \cdot$ (*diameter van de cirkelbaan*) = $\frac{1}{2} \cdot 8{,}4858$ km = $= 4{,}2429 \cdot 10^3$ m
q = lading van een proton = $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)
v = snelheid van de protonen = $2{,}998 \cdot 10^8$ m s^{-1} (zie antwoord 18)

Invullen: $B = \frac{1{,}12 \cdot 10^{-6}}{4{,}2429 \cdot 10^3 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}998 \cdot 10^8} = 5{,}5$ T

21 We berekenen eerst het totale aantal protonen n dat tijdens één omwenteling een doorsnede van de ring passeert.

Er geldt: $n = \frac{Q}{q}$, waarin:

Q = totale lading die tijdens één omwenteling een doorsnede van de ring passeert.

Er geldt: $I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t$, met:

I = stroomsterkte in de ring = 0,582 A
t = tijdsduur van één omwenteling van een proton. De protonen doorlopen 11245 maal per seconde de ring, dus $t = \frac{1}{11245}$ s

zodat: $Q = 0{,}582 \cdot \frac{1}{11245} = 5{,}176 \cdot 10^{-5}$ C

q = lading van een proton = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)

Invullen: $n = \frac{5{,}176 \cdot 10^{-5}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 3{,}231 \cdot 10^{14}$

Er zijn 2808 groepjes protonen, dus in één groepje zitten

$\frac{3{,}231 \cdot 10^{14}}{2808} = 1{,}15 \cdot 10^{11}$ protonen

Schudlamp

22 Voor de hoogte van de inductiespanningspiek U_{ind} geldt:

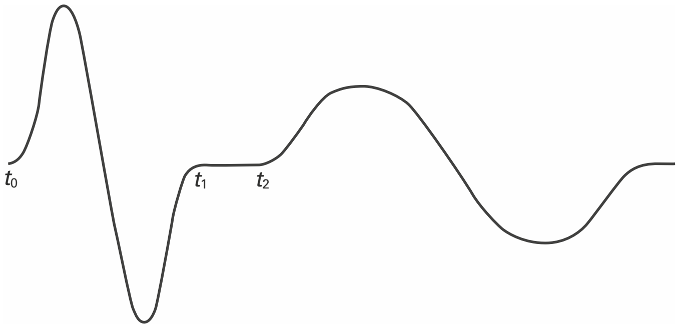
$U_{ind} \propto \frac{d\Phi}{dt}$, waarin:

$d\Phi$ = fluxverandering in de spoel = $d(B_\perp \cdot A)$ (Binas 35D3), met $B_\perp$ de component van het magnetische veld loodrecht op de spoel en A de oppervlakte van de windingen van de spoel
dt = tijdsduur van de fluxverandering

Als de magneet de spoel nadert, neemt de magnetische flux toe. De waarde van $d\Phi$ is dan positief en U_{ind} dus ook.
Als de magneet de spoel heeft gepasseerd, neemt de magnetische flux af. De waarde van $d\Phi$ is dan negatief en U_{ind} dus ook.

©ThiemeMeulenhoff

23 Zie de tekening.



Voor de hoogte van de inductiespanningspiek U_{ind} geldt:

$U_{ind} \propto \frac{d\Phi}{dt}$, waarin:

$d\Phi$ = *fluxverandering in de spoel* = $d(B_\perp \cdot A)$ *(Binas 35D3), met $B_\perp$ de component van het magnetische veld loodrecht op de spoel en A de oppervlakte van de windingen van de spoel*
dt = *tijdsduur van de fluxverandering*

- *De magneet beweegt twee keer zo langzaam* $\Rightarrow$ dt *wordt twee keer zo groot* $\Rightarrow$ $\Rightarrow$ U_{ind} *wordt twee keer zo klein. De pieken worden dus twee keer zo laag en twee keer zo breed.*
- *De magneet beweegt eerst naar de spoel toe en dan ervan af* $\Rightarrow$ $d\Phi$ *is eerst positief en daarna negatief* $\Rightarrow$ U_{ind} *wordt eerst positief en daarna negatief.*

©ThiemeMeulenhoff

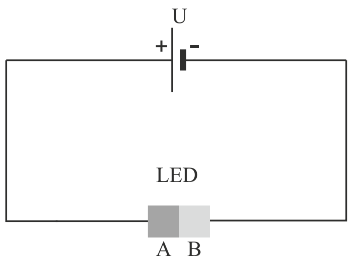
9 Elektromagnetische straling en materie (domein E2)

Gekleurde LED's-II

Een LED (Light Emitting Diode) is een diode die licht uitzendt als deze in de doorlaatrichting geschakeld is.

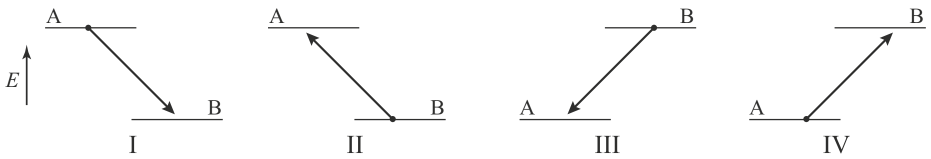
In figuur 1 is de bouw van een LED vereenvoudigd weergegeven.
Een LED is opgebouwd uit twee materialen, A en B.
In de materialen A en B hebben de geleidings-elektronen een verschillend energieniveau. De keuze voor de materialen A en B bepaalt de kleur van het licht dat de LED uitzendt.

figuur 1



In figuur 2 staan vier schema's met energieniveaus van de geleidings-elektronen weergegeven.

figuur 2



In één van de schema's is het proces waarbij in een LED licht ontstaat juist weergegeven.

1 Leg uit in welk schema dat is.

Een bepaalde, blauwe, LED zendt fotonen uit met een golflengte van 470 nm en zendt een vermogen van 0,075 W aan licht uit. De stroomsterkte door de LED bedraagt 50 mA.
Uit deze gegevens volgt dat niet bij alle geleidings-elektronen die door deze LED gaan, een 'blauw' foton vrijkomt. Dit gebeurt slechts bij een bepaald percentage van de geleidings-elektronen.

2 Bereken dat percentage.

©ThiemeMeulenhoff

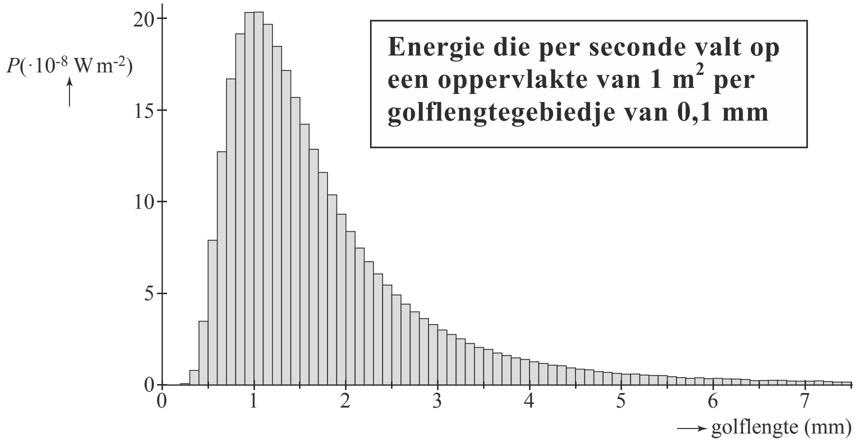
WMAP-II

In 2001 werd de satelliet genaamd WMAP gelanceerd die tot taak had nauwkeurige metingen van de kosmische achtergrondstraling te verrichten (WMAP = Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Zie figuur 1.

figuur 1

De metingen van WMAP worden gecorrigeerd voor de invloed van alle storende bronnen, zodat alleen de kosmische achtergrondstraling overblijft. Uit de gecorrigeerde metingen is figuur 2 afgeleid.

figuur 2



Hieronder staan vier schattingen van het aantal fotonen met een golflengte tussen 1,0 en 2,0 mm dat per seconde een oppervlakte van 1,0 m^2 treft.

a $1 \cdot 10^{10}$ b $1 \cdot 10^{13}$ c $1 \cdot 10^{16}$ d $1 \cdot 10^{19}$

3 Welke schatting is de beste? Motiveer je keuze met een berekening.

Bij de stralingskromme van figuur 2 hoort een temperatuur van 2,6 K.

4 Toon dat aan.

De gemeten achtergrondstraling heeft vanuit alle richtingen van het heelal hetzelfde spectrum en dezelfde intensiteit. Dit duidt erop dat de straling is ontstaan vóórdat de sterren gevormd werden en elektronen werden gebonden in atomen. De straling is dus afkomstig van het vroege heelal, toen het 'doorzichtig' werd bij een temperatuur van zo'n 3000 K.
Vrijwel alle fotonen 'van toen' zijn nu nog steeds onderweg, alleen is hun 'kleur' veranderd in ver infrarood. Er is dus sprake van 'roodverschuiving'.
Hieronder staan twee verklaringen voor deze roodverschuiving.

– Dopplerverschuiving ten gevolge van de radiale snelheid van de bron.
– Kosmologische roodverschuiving vanwege de uitdijing van het heelal.

©ThiemeMeulenhoff

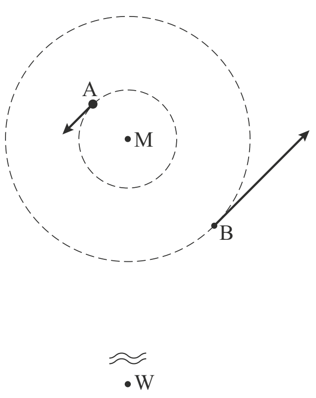
Dopplerverschuiving kan niet de verklaring zijn omdat daaruit een snelheid volgt die groter is dan de lichtsnelheid.

5 Toon dat aan.

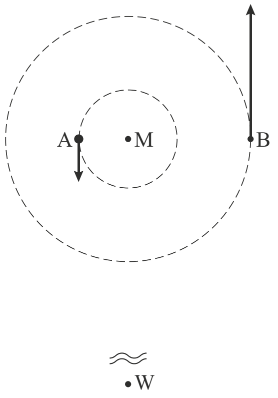
Spectroscopische dubbelster

Er zijn sterren die lijken te bestaan uit één object, maar bij nadere beschouwing deel uit maken van een zogenaamd 'dubbelstersysteem'.
Bij een dubbelstersysteem bewegen twee sterren A en B in concentrische cirkels met middelpunt M zoals in figuur 1a, 1b en 1c is aangegeven.
Figuur 1 is niet op schaal. Waarnemer W staat in werkelijkheid heel ver weg.

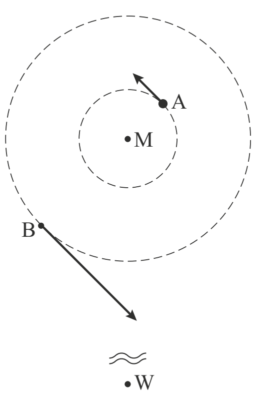
figuur 1a



figuur 1b



figuur 1c



A en B liggen op een lijn die steeds door M gaat en A en B hebben dezelfde omlooptijd.

Er zijn dubbelstersystemen waarbij A en B één ster lijken te zijn, zelfs als je er met een telescoop naar kijkt. Dat het toch om een dubbelster gaat, kan men afleiden uit het spectrum van het licht dat de sterren uitstralen.
Door het dopplereffect vindt bij de lijnen van het spectrum van deze sterren tegelijkertijd roodverschuiving en blauwverschuiving plaats.

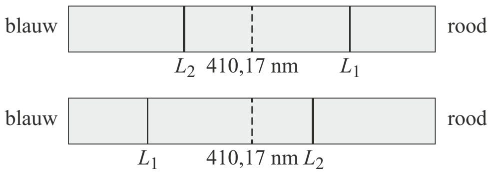
In het vervolg van de opgave nemen we aan dat de aarde met waarnemer W in het draaivlak van A en B ligt en dat M niet ten opzichte van de aarde beweegt.

Men bestudeert de spectraallijn H_δ die bij een stilstaande ster een golflengte λ = 410,17 nm heeft.

6 Tussen welke waarden van *n* vindt de overgang plaats die hoort bij lijn H_δ? Zie tabel 21A in BINAS.

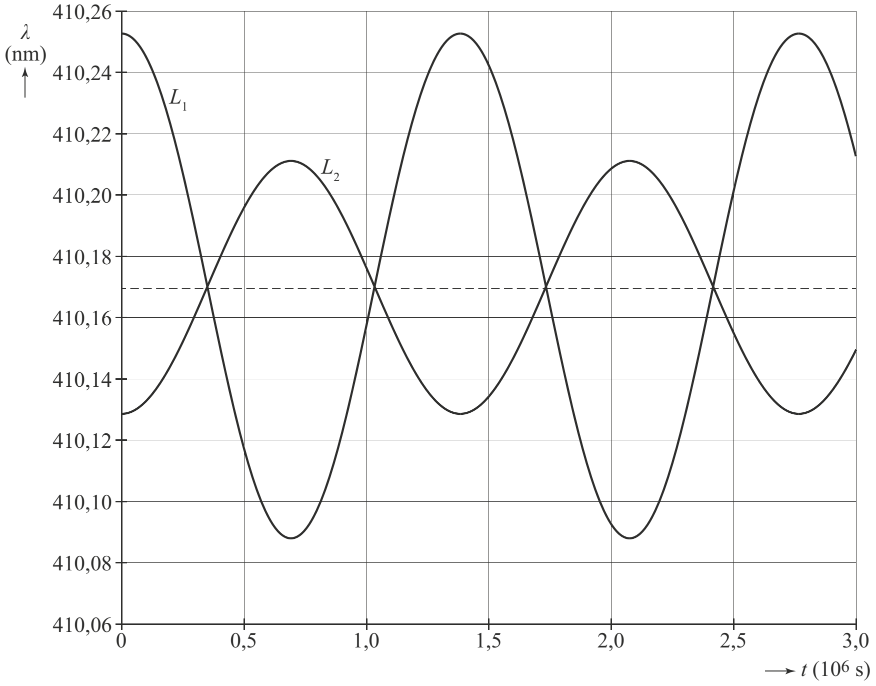
Bij dubbelsterren is de H_δ-lijn gesplitst in twee H_δ-lijnen die in de loop van de tijd verschuiven. Zie figuur 2.
De lijn λ = 410,17 nm is gestippeld weergegeven.

figuur 2



In figuur 3 zijn waargenomen golflengtes van de H_δ-lijnen van de sterren A en B weergegeven als functie van de tijd.
Ook hier is de lijn λ = 410,17 nm gestippeld.

figuur 3



7 Leg uit dat het golflengteverloop L_2 afkomstig is van ster A.

8 Teken in figuur 3 een punt b op lijn L_1 dat overeenkomt met de situatie van figuur 1b en geef een toelichting.

Uit figuur 3 kan men bepalen dat voor de baanstralen geldt:

$r_A = 6{,}6 \cdot 10^9$ m en $r_B = 13{,}2 \cdot 10^9$ m.

9 Voer deze bepaling uit. Bepaal daartoe eerst de waarden van v_A en v_B uit het dopplereffect.

Spectraallijnen

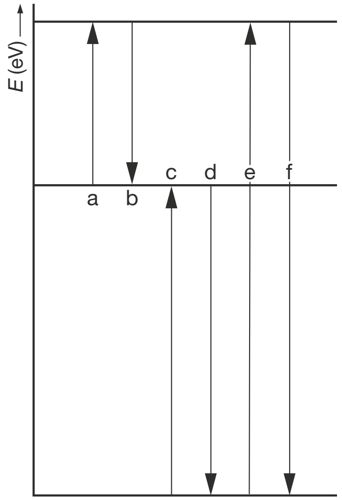
Jip en Janneke willen de spectraallijnen onderzoeken van een aantal lichtsoorten. Jip kiest voor een gloeilampje en Janneke voor een natriumlamp.

10 Leg uit waarom Jip na een aantal pogingen geen resultaat boekt.

Jip besluit na enige vergeefse pogingen zich aan te sluiten bij Janneke, die met de natriumlamp wel spectraallijnen vindt. Ze gebruiken een spectroscoop. Met behulp van de spectroscoop kunnen ze de golflengten van een aantal spectraallijnen opmeten in het golflengtegebied tussen 250 nm en 1200 nm. Na nauwkeurige meting zoeken ze in het energieschema van natrium (zie figuur 1) voor drie golflengten bij welke overgangen die lijnen horen. Eén van de golflengten hoort bij ultraviolet licht; een andere bij zichtbaar licht en de derde bij infrarood licht.

11 Wat moeten Jip en Janneke doen om vast te stellen welke golflengte hoort bij welke overgang in het energieschema?

figuur 1



In figuur 1 zijn zes overgangen tussen de energieniveaus van het natriumatoom getekend. Langs de verticale as staat de energie van enkele aangeslagen toestanden van het natriumatoom, echter zonder schaalverdeling.

12 Leg uit hoe het komt dat atomen in het natriumgas van de lamp in staat zijn specifieke lichtsoorten uit te zenden.

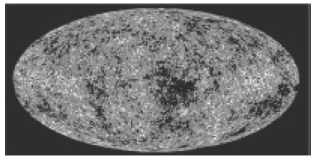
13 Beredeneer welke van de zes lijnen respectievelijk horen bij het uitgezonden ultraviolet licht, infrarood licht en zichtbaar licht.

Kosmische achtergrondstraling

Volgens de gangbare theorieën is het heelal ontstaan met een enorme explosie: de zogenaamde oerknal (Big Bang). Na ongeveer een microseconde konden er protonen en neutronen ontstaan.

Atoomkernen en elektronen vormen samen atomen. Aanvankelijk werden deze door de aanwezige fotonen ook weer heel snel geïoniseerd. Na ongeveer $3 \cdot 10^5$ jaar hadden de meeste fotonen echter niet meer genoeg energie om atomen te ioniseren. Vanaf die tijd werden atomen stabiel en konden de fotonen vrij door het heelal reizen zonder geabsorbeerd te worden.
Deze straling is nog steeds aanwezig in het heelal. Lees de volgende tekst.

tekst Nasa presenteert foto van piepjong heelal



NASA presenteerde onlangs een foto die zij de ‘de beste babyfoto’ van het heelal heeft genoemd. De opname toont de oudste straling uit het heelal, de zogeheten kosmische achtergrondstraling, daterend uit de tijd dat het universum nog maar 300.000 jaar oud was.
Het uitdijende en afkoelende heelal gloeide toen als het oppervlak van een koele ster die voornamelijk fotonen uitzendt met een golflengte van 0,97 μm.
Na 14 miljard jaar verdere expansie is de straling veranderd in microgolfstraling waarvan de stralingskromme overeenkomt met die van een voorwerp met een temperatuur van slechts 2,73 graden boven het absolute nulpunt. Uit de kleurverschillen van de foto blijkt, dat de temperatuur van het jonge heelal niet overal gelijk was.

naar: NRC Handelsblad, 12 februari 2003

Lees bovenstaande tekst.

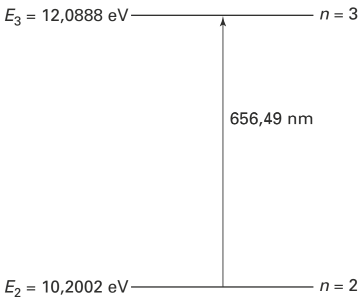
Bij elk stralend voorwerp, dus ook bij het heelal, hoort een stralingskromme.

14 Bereken met welke factor de energie van de fotonen van de achtergrondstraling, die horen bij het maximum van de stralingskromme, na 14 miljard jaar verdere expansie afgenomen is.

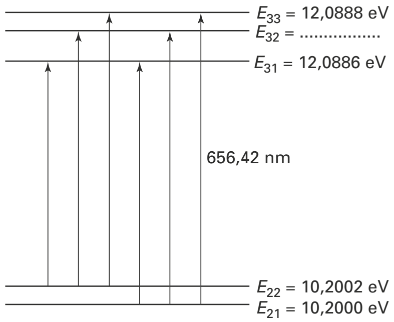
Natuurconstanten

In Binas 21A staat het energieniveauschema van het waterstofatoom volgens het atoommodel van Bohr. In figuur 1 is de situatie voor de energieniveaus voor de hoofdkwantumgetallen n = 2 en n = 3 weergegeven.

figuur 1



figuur 2



Volgens het model van Bohr zou de geabsorbeerde golflengte tussen deze niveaus 656,49 nm bedragen.
In werkelijkheid zijn de twee getoonde niveaus opgesplitst in een aantal subniveaus. Men spreekt van de ‘fijnstructuur’. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.
Hierbij speelt de zogeheten fijnstructuurconstante α een rol.

Voor α geldt:

$$\alpha = \frac{1}{2\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{hc} = 0{,}00729735$$

Hierin is:
- ε_0 de diëlektrische constante; $\varepsilon_0 = 8{,}85419 \cdot 10^{-12}$ C V^{-1} m^{-1};
- e het elementair ladingskwantum;
- h de constante van Planck;
- c de lichtsnelheid.

15 Laat met een berekening zien dat de gegeven waarde van α zowel wat betreft getalwaarde als wat betreft significantie in overeenstemming is met de benodigde gegevens uit Binas 7A.

16 Ga met een eenhedenbeschouwing na of α een eenheid heeft.

In de onderstaande tabel is aangegeven hoe de energiewaarden die bij de subniveaus van figuur 2 horen, afhangen van de fijnstructuurconstante α.

$E_{21} = E_2 \cdot \left(1 - \frac{5\alpha^2}{16}\right)$	$E_{31} = E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{4}\right)$
$E_{22} = E_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{16}\right)$	$E_{32} = E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{6}\right)$
	$E_{33} = E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{12}\right)$

17 Bereken de waarde van E_{32}.

De absorptielijn van 656,49 nm uit figuur 1 heeft een zekere lijnbreedte $\Delta\lambda$. Dit komt omdat de lijn feitelijk bestaat uit de 6 absorptielijnen die uit de energieniveaus van figuur 2 volgen. De lijnbreedte $\Delta\lambda$ is het verschil tussen de grootste golflengte en de kleinste golflengte van deze absorptielijnen. De golflengte die hoort bij de absorptielijn van de grootste energie-overgang is 656,42 nm.

18 Bereken de lijnbreedte $\Delta\lambda$.

Hints bij hoofdstuk 9

1 In welke richting bewegen de elektronen binnen de LED?
2 Bereken eerst hoeveel geleidingselektronen de LED per seconde passeren.
3 Reken met een geschatte gemiddelde waarde voor P.
4 Gebruik de wet van Wien.
5 Welke golflengte hoort bij de temperatuur van 3000 K, vergeleken met die bij 2,6 K?
6 Kijk bij de Balmerserie.
7 Hoe groter de snelheid, hoe groter de dopplerverschuiving.
8 Wanneer treedt er een roodverschuiving op?
9 Gebruik de formule voor de dopplerverschuiving.
10 Wat voor spectrum wordt uitgezonden door een gloeiend vast lichaam?
11 Wat is het verband tussen de energie van een foton en de golflengte ervan?
12 Wat betekent het dat een natriumatoom zich in een aangeslagen toestand bevindt?
13 Moet je letten op de pijlen omhoog of omlaag?
14 Voor de wet van Wien: zie Binas tabel 35E1.
15 Let op het aantal significante cijfers van de gegevens in Binas.
16 Zie Binas tabel 4.
17 Zie ook figuur 1.
18 Bereken eerst het kleinste verschil tussen de energieniveaus m.b.v. figuur 2.

Uitwerkingen bij hoofdstuk 9

Gekleurde LED's-II

1 De elektrische stroom in de stroomkring gaat van + naar –, dus van A naar B.
De elektronen gaan in de LED dus van B naar A. Als een elektron terugvalt naar een lager energieniveau, wordt er een foton uitgezonden. Niveau B ligt dus hoger dan niveau A. Schema III geeft die situatie juist weer.

2 *methode 1*
Het percentage p van de geleidingselektronen, waarbij een foton vrijkomt, volgt uit:
$p = \frac{P_{uitgez}}{P_{max}} \cdot 100\%$, waarin:
P_{uitgez} = lichtvermogen dat de LED uitzendt = 0,075 W
P_{max} = lichtvermogen dat de LED zou uitzenden als alle geleidingselektronen een foton produceren = $N_{per\ s} \cdot E_f$, met:
$N_{per\ s}$ = aantal geleidingselektronen dat per seconde de LED passeert = $= \frac{Q_{per\ s}}{e} = \frac{I \cdot t}{e}$ (Binas 35D1), met:
$Q_{per\ s}$ = lading die de LED per seconde passeert
e = elementair ladingsquantum = $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)
I = stroomsterkte in de LED = 50 mA = $50 \cdot 10^{-3}$ A
t = 1,00 s
zodat: $N_{per\ s} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}00}{1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 3{,}13 \cdot 10^{17}$
E_f = energie van één foton = $\frac{h \cdot c}{\lambda}$ (Binas 35E2), met:
h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $3{,}00 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)
λ = golflengte van het foton = 470 nm = $470 \cdot 10^{-9}$ m (Binas 2)
zodat: $E_f = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}{470 \cdot 10^{-9}} = 4{,}23 \cdot 10^{-19}$ J

$P_{max} = 3{,}13 \cdot 10^{17} \cdot 4{,}23 \cdot 10^{-19} = 0{,}132$ W

Invullen: $p = \frac{0{,}075}{0{,}132} \cdot 100\% = 57\%$

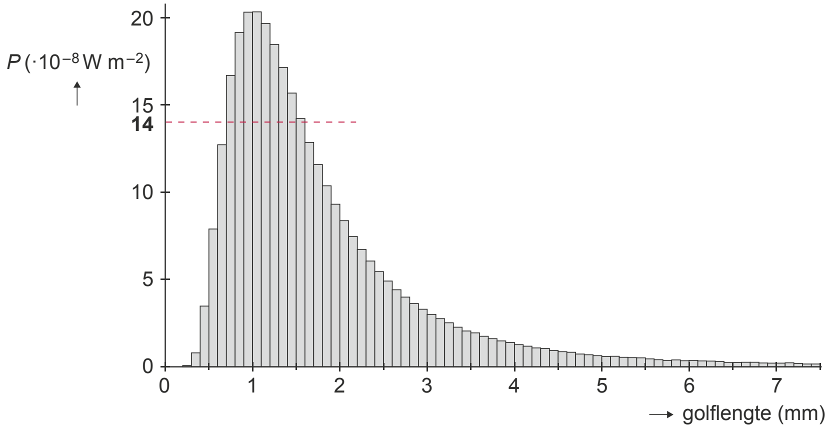
methode 2
Het percentage p van de geleidingselektronen, waarbij een foton vrijkomt, volgt uit:
$p = \frac{P_{uitgez}}{P_{el}} \cdot 100\%$, waarin:
P_{uitgez} = lichtvermogen dat de LED uitzendt = 0,075 W
P_{el} = elektrisch vermogen dat de LED opneemt = $U \cdot I$ (Binas 35D1), met:
U = spanning = energie per ladingseenheid ($\Delta E_{el} = q \cdot U$; Binas 35D2) = $= \frac{E_f}{e} = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e}$ (Binas 35E2), met:
E_f = energie van het foton
e = elementair ladingsquantum = $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)
h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $3{,}00 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)
λ = golflengte van het foton = 470 nm = $470 \cdot 10^{-9}$ m (Binas 2)
zodat: $U = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}{470 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 2{,}64$ V

I = stroomsterkte in de LED = 50 mA = $50 \cdot 10^{-3}$ A
zodat: $P_{el} = 2{,}64 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0{,}132$ W

Invullen: $p = \frac{0{,}075}{0{,}132} \cdot 100\% = 57\%$

WMAP-II

3 Zie de tekening.



We schatten het aantal fotonen n met een golflengte tussen 1,0 en 2,0 mm dat per seconde een oppervlakte van 1,0 m^2 treft, met: $n = \frac{E}{E_f}$, waarin:
E = energie die per seconde per m^2 op de oppervlakte valt met golflengten tussen 1,0 en 2,0 mm
In de tekening lezen we af: de 10 golflengtegebiedjes hebben een gemiddelde energie per seconde per m^{-2} van $14 \cdot 10^{-8}$ W m^{-2}
zodat: $E = 10 \cdot 14 \cdot 10^{-8}$ W m^{-2} $\cdot$ 1,0 s $\cdot$ 1,0 m^2 = $1{,}4 \cdot 10^{-6}$ J

E_f = gemiddelde energie van één foton $= \frac{h \cdot c}{\lambda}$ (Binas 35E2), met:

h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $3{,}0 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)
λ = geschatte gemiddelde golflengte van de fotonen = 1,5 mm = $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ m

zodat: $E_f = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}0 \cdot 10^{8}}{1{,}5 \cdot 10^{-3}} = 1{,}33 \cdot 10^{-22}$ J

Invullen: $n = \frac{1{,}4 \cdot 10^{-6}}{1{,}33 \cdot 10^{-22}} = 1{,}1 \cdot 10^{16}$

Dus schatting c is de beste.

4 De temperatuur T die bij de stralingskromme hoort, bepalen we met de wet van Wien: $\lambda_{max} \cdot T = k_W \Rightarrow T = \frac{k_W}{\lambda_{max}}$ (Binas 35E1), waarin:

λ_{max} = golflengte behorende bij de maximale intensiteit = 1,1 mm (afgelezen in figuur 2) = $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ m
k_W = constante van Wien = $2{,}898 \cdot 10^{-3}$ m K (Binas 7A)

Invullen: $T = \frac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{1{,}1 \cdot 10^{-3}} = 2{,}6$ K

5 De formule van de dopplerverschuiving luidt: $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$ (Binas 35E1), waarin:

v = snelheid van de stralingsbron, $\Delta\lambda$ = verschil tussen waargenomen golflengte en de uitgezonden golflengte, λ = golflengte van de stralingsbron en c = lichtsnelheid. Bij een temperatuur van 3000 K ($\approx 1000 \cdot 2{,}6$ K) horen, gebruikmakend van de wet van Wien, golflengten die ongeveer 1000 keer kleiner zijn dan de waargenomen golflengten, dus ongeveer $1 \cdot 10^{-6}$ m

Voor v vinden we dan: $v \approx \frac{1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-6}} \cdot c = 1 \cdot 10^{3} \cdot c$

De bron zou ongeveer 1000 keer zo snel gaan als de lichtsnelheid, dus de dopplerverschuiving kan niet de verklaring zijn voor de roodverschuiving.

Spectroscopische dubbelster

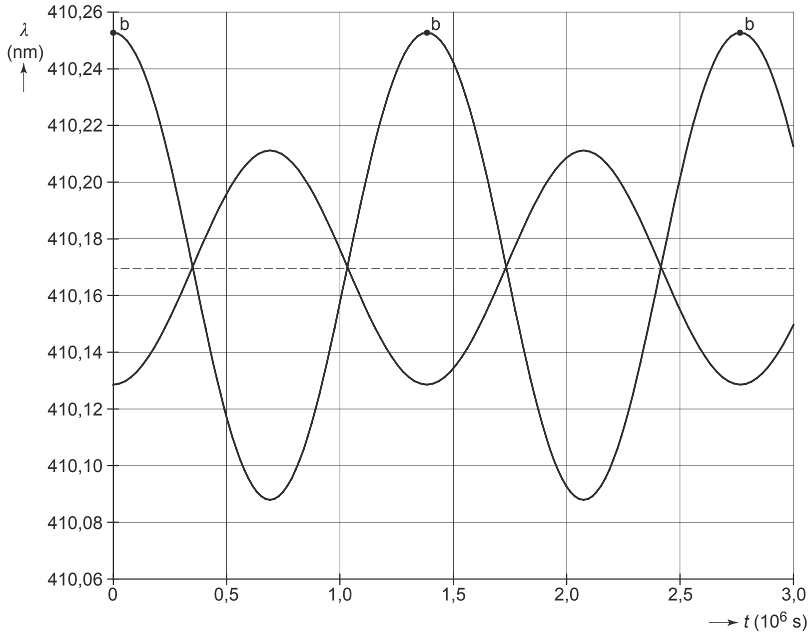
6 De spectraallijn H_δ met golflengte $\lambda = 410{,}17$ nm is een lijn uit de Balmerserie van het spectrum van waterstof (H) (Binas 21A). Deze spectraallijn hoort bij de overgang van $n = 6$ naar $n = 2$.

7 Voor de dopplerverschuiving $\Delta\lambda$ geldt: $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$ (Binas 35E1) $\Rightarrow \Delta\lambda = \frac{v \cdot \lambda}{c}$

De dopplerverschuiving is dus kleiner als de snelheid van de ster (in de richting van de waarnemer) kleiner is.

Voor de omloopsnelheid v van de sterren geldt: $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ (Binas 35A2). Omdat de omlooptijd T voor de sterren A en B hetzelfde is en $r_A < r_B$ (zie figuur 1), is $v_A < v_B$. De dopplerverschuiving is bij ster A dus kleiner, dus het golflengteverloop L_2 is afkomstig van ster A.

8 Zie de tekening.



Lijn L_1 geeft het golflengteverloop weer, afkomstig van ster B (zie vorige antwoord). In figuur 1b beweegt ster B met de maximale snelheid van de waarnemer af, dus zal er een maximale verschuiving van de golflengte naar het rood (naar grotere golflengte) worden gemeten. In de tekening gebeurt dat drie keer, aangegeven met de punten b.

9 Bepaling van de baanstraal r_A van ster A.

Er geldt: $v_A = \frac{2\pi \cdot r_A}{T_A}$ (Binas 35A2) $\Rightarrow r_A = \frac{v_A \cdot T_A}{2\pi}$, waarin

v_A = baansnelheid van ster A

Voor de maximale dopplerverschuiving $\Delta\lambda_A$ van ster A (lijn L_2) geldt:

$v_A = \frac{\Delta\lambda_A}{\lambda} \cdot c$ (Binas 35E1), met:

$\Delta\lambda_A = 410{,}211 - 410{,}17 = 0{,}041$ nm $= 0{,}041 \cdot 10^{-9}$ m (afgelezen in figuur 3)
λ = 410,17 nm = $410{,}17 \cdot 10^{-9}$ m
c = lichtsnelheid = $3{,}00 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)

zodat: $v_A = \frac{0{,}041 \cdot 10^{-9}}{410{,}17 \cdot 10^{-9}} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8} = 3{,}00 \cdot 10^{4}$ m s^{-1}

T_A = omlooptijd van ster A = $(1{,}725 - 0{,}35) \cdot 10^{6} = 1{,}38 \cdot 10^{6}$ s (afgelezen in figuur 3)

Invullen: $r_A = \frac{3{,}00 \cdot 10^{4} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{6}}{2\pi} = 6{,}6 \cdot 10^{9}$ m

Voor ster B geldt: $r_B = \frac{v_B \cdot T_B}{2\pi}$, waarin:

$T_B = T_A$

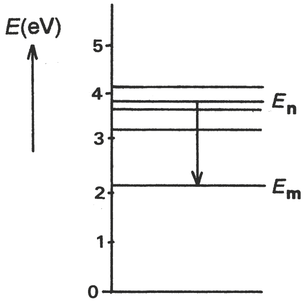
$v_B = \frac{\Delta\lambda_B}{\lambda} \cdot c$ In figuur 3 lezen we af: $\Delta\lambda_B = 2 \cdot \Delta\lambda_A \Rightarrow v_B = 2 \cdot v_A$

zodat: $r_B = \frac{2 \cdot v_A \cdot T_A}{2\pi} = 2 \cdot r_A = 2 \cdot 6{,}6 \cdot 10^{9} = 13{,}2 \cdot 10^{9}$ m

Spectraallijnen

10 Een gloeilampje zendt licht uit omdat de gloeidraad, dat is een vast lichaam, een hoge temperatuur heeft. Zulke stralers zenden een *continu* spectrum uit. Jip zal dus geen spectraallijnen kunnen ontdekken.

11 Zie de tekening.



1 Ze moeten de energie E_f van de fotonen van elke spectraallijn berekenen met:

$E_f = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ (Binas 35E2)

De waarden van h en c vinden ze in Binas tabel 7A en λ hebben ze gemeten met de spectroscoop. Ze berekenen dan de waarde van E_f in J.

2 Vervolgens berekenen ze voor elke soort fotonen de waarde van E_f in eV (Binas 5)

3 Daarna kijken ze in het energieschema van natrium bij welke overgangen geldt: $E_f = E_n - E_m$

12 De natriumatomen worden *aangeslagen*. Dat betekent dat het elektron in de buitenste schil van het atoom in een hogere energietoestand komt. Vanuit die toestand kan het elektron terugvallen naar een lager energieniveau.
Het verschil in energie komt vrij in de vorm van een foton.
Die fotonen hebben dus een zeer specifieke energiewaarde en corresponderen met een zeer specifieke kleur volgens $E_f = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ (Binas 35E2)

13 Bij de overgangen van een hoger energieniveau E_n naar een lager energieniveau E_m in het natriumatoom (pijlen *omlaag* in figuur 1) wordt een foton *uitgezonden* met een energie E_f waarvoor geldt: $E_f = E_n - E_m$
De pijlen omlaag horen dus bij de gevraagde emissielijnen.
Omdat Jip en Janneke drie lijnen onderzoeken, waarvan er één in het infrarood, één in het zichtbare spectrum en één in het ultraviolet licht, weet je:

1 dat de lijn die behoort bij het grootste energieverschil (dus overgang f) de ultraviolette moet zijn (λ_{uv} is klein dus de energie is groot);

2 dat de lijn die behoort bij het wat kleinere energieverschil (dus overgang d) die in het zichtbare gebied is en

3 dat de lijn die behoort bij het kleinste energieverschil (dus overgang b) die in het infrarood is (λ_{ir} is groot dus de energie is klein).

De overgangen e, c en a horen respectievelijk bij de overeenkomstige absorptielijnen.

Kosmische achtergrondstraling

14 De factor k, waarmee de energie van de achtergrondstraling van fotonen, die horen bij het maximum van de stralingskromme, is afgenomen, vinden we uit:

$k = \frac{E_{foton,1}}{E_{foton,2}}$, waarin:

$E_{foton,1}$ = energie van een foton van de achtergrondstraling na 300 000 jaar =
$= \frac{h \cdot c}{\lambda}$ (Binas 35E2), met:
h = constante van Planck = $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $2{,}998 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)
λ = golflengte van die achtergrondstraling = 0,97 μm = $0{,}97 \cdot 10^{-6}$ m
zodat: $E_{foton,1} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}}{0{,}97 \cdot 10^{-6}} = 2{,}05 \cdot 10^{-19}$ J

$E_{foton,2}$ = energie van een foton (behorende bij golflengte λ_{max}) dat nu de aarde bereikt
Er geldt: $E_{foton,2} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{max}} =$ (Binas 35E2), met:
h = constante van Planck = $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $2{,}998 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)
λ_{max} = golflengte behorend bij het maximum van de stralingskromme van een lichaam met temperatuur 2,73 K (zie als voorbeeld: Binas 22)
Volgens de wet van Wien geldt: $\lambda_{max} \cdot T = k_w$ (Binas 35E2), waarin:
T = temperatuur = 2,73 K
k_w = constante van Wien = $2{,}8978 \cdot 10^{-3}$ m K (Binas 7A)
$\Rightarrow \lambda_{max} \cdot 2{,}73 = 2{,}8978 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$
$\Rightarrow \lambda_{max} = \frac{2{,}8978 \cdot 10^{-3}}{2{,}73} = 1{,}061 \cdot 10^{-3}$ m
zodat: $E_{foton,2} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}}{1{,}061 \cdot 10^{-3}} = 1{,}872 \cdot 10^{-22}$ J

Invullen: $k = \frac{2{,}05 \cdot 10^{-19}}{1{,}872 \cdot 10^{-22}} = 1{,}1 \cdot 10^{3}$
De energie van de fotonen is dus met een factor $1{,}1 \cdot 10^{3}$ afgenomen.

Natuurconstanten

15 We berekenen α met $\alpha = \frac{1}{2 \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{h \cdot c}$, waarin:
e = elementair ladingskwantum = $1{,}6021766 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)
ε_0 = diëlektrische constante = $8{,}85419 \cdot 10^{-12}$ C V^{-1} m^{-1}
h = constante van Planck = $6{,}62607 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $2{,}99792458 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)

Invullen: $\alpha = \frac{1}{2 \cdot 8{,}85419 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{(1{,}6021766 \cdot 10^{-19})^2}{6{,}62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}99792458 \cdot 10^{8}} =$
$= 7{,}29735 \cdot 10^{-3} = 0{,}00729735$

De gegeven waarde van α is dus in overeenstemming met de benodigde gegevens uit Binas 7A.
Er moet op 6 significante cijfers worden afgerond, vanwege het feit dat zowel ε_0 als h in Binas 7A gegeven staan in 6 significante cijfers.

16 We gaan na of α een eenheid heeft met de volgende eenhedenbeschouwing:

$$[\alpha] = \frac{1}{[\varepsilon_0]} \cdot \frac{[e]^2}{[h] \cdot [c]} = \frac{1}{C \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}} \cdot \frac{C^2}{J \cdot s \cdot m \cdot s^{-1}} \text{ (zie gegevens antwoord 15)} =$$

$$= \frac{C}{V^{-1} \cdot J} = C \cdot V \cdot J^{-1} = C \cdot (J \cdot C^{-1}) \cdot J^{-1} \text{ (Binas 4)} = 1$$

α heeft dus geen eenheid.

17 We berekenen de waarde van E_{32} met $E_{32} = E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{6}\right)$, waarin:
E_3 = 12,0888 eV (afgelezen in figuur 1)
α = 0,00729735
Invullen: $E_{32} = 12{,}0888 \cdot \left(1 - \frac{0{,}00729735^2}{6}\right) = 12{,}0887$ eV

18 De lijnbreedte $\Delta\lambda$ van de absorptielijn volgt uit $\Delta\lambda = \lambda_{max} - \lambda_{min}$, waarin:
λ_{max} = grootste golflengte van deze absorptielijnen. Er geldt dat:

$$\Delta E_{min} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{max}} \text{ (Binas 35E2)} \Rightarrow \lambda_{max} = \frac{h \cdot c}{\Delta E_{min}}, \text{ met:}$$

h = constante van Planck = $6{,}62607 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $2{,}99792458 \cdot 10^8$ m s^{-1} (Binas 7A)
ΔE_{min} = kleinste verschil tussen de energieniveaus =
= $E_{31} - E_{22}$ = 12,0886 – 10,2002 (afgelezen in figuur 2) =
= 1,8884 eV = $1{,}8884 \cdot 1{,}6021765 \cdot 10^{-19}$ J (Binas 7A) =
= $3{,}02555 \cdot 10^{-19}$ J

zodat: $$\lambda_{max} = \frac{6{,}62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}99792458 \cdot 10^8}{3{,}02555 \cdot 10^{-19}} = 656{,}557 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$
= 656,557 nm

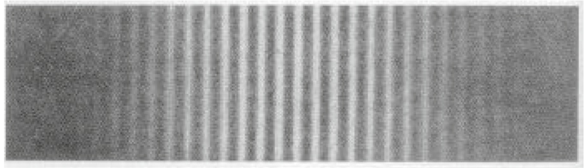
λ_{min} = kleinste golflengte van deze absorptielijnen = 656,42 nm
Invullen: $\Delta\lambda$ = 656,557 – 656,42 = 0,14 nm

10 Quantumwereld (domein F1)

Proef van Young

Figuur 1 laat het interferentiepatroon zien dat ontstaat bij de buiging van licht aan twee dunne evenwijdige spleten. Young voerde deze proef voor het eerst uit.

figuur 1



1 Maak een schematische schets van de opstelling die tot figuur 1 heeft geleid.

2 Leg uit waarom dit patroon een argument is voor het idee dat licht golfeigenschappen heeft.

Het dubbelspleet-experiment kan ook gedaan worden met elektronen.
3 Leg het verband uit tussen dat experiment en de debroglie-golflengte.

Neutronenverstrooiing

Mechanische materiaalspanningen in bijvoorbeeld een aluminium vleugeldeel van een vliegtuig hebben tot gevolg dat de afstanden tussen de atomen veranderen. Met behulp van neutronenverstrooiing kunnen deze veranderingen veel preciezer worden gemeten dan bijvoorbeeld met röntgenstralen. Röntgenstralen worden verstrooid door de elektronen in een atoom, neutronen worden verstrooid door atoomkernen.
Omdat de positie van de elektronen veel minder scherp bepaald is dan die van de atoomkern is het resultaat van een meting met neutronen scherper bepaald dan met röntgenstralen.
Nog een voordeel van neutronen is dat zij dieper in materie doordringen, zodat er gemeten kan worden binnen in massieve metalen voorwerpen die voor röntgenstralen ontoegankelijk zijn.

4 Leg uit wat er in bovenstaande tekst wordt bedoeld met: ‘Omdat de positie van de elektronen veel minder scherp bepaald is dan die van de atoomkern, . .’.

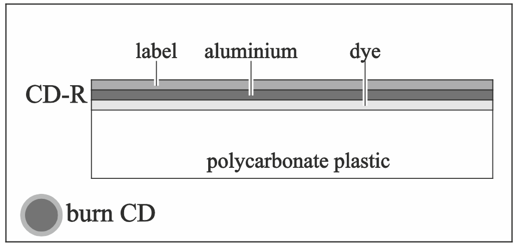
5 Welke eigenschap van neutronen zorgt ervoor dat ze diep in materie doordringen?

Voor het maken van neutronenbundels met een hoge intensiteit wordt een kernreactor gebruikt. De neutronen die geproduceerd worden, hebben een snelheid van de orde van 10^7 m s^{-1}. Men remt de neutronen af om bundels te krijgen die geschikt zijn voor het uitvoeren van onderzoeken. De grootteorde van de structuur die men wil onderzoeken is bepalend voor de gewenste snelheid van de neutronen. Voor een bepaald type biologisch onderzoek worden neutronen afgeremd tot 10 m s^{-1}.
6 Leg uit of men neutronen van 10 m s^{-1} beter kan gebruiken om de structuur van DNA of die van bacteriën te onderzoeken. Bereken daartoe eerst de debroglie-golflengte van een neutron met een snelheid van 10 m s^{-1}. Gebruik uit Binas tabel 100.

Kleurstof in een CD-R

Lees onderstaand artikel.

In CD's zit de informatie vastgelegd met putjes in het glanzende metaaloppervlak. Bij een CD-R (R van Recordable), een beschrijfbare CD, is het anders. Daar is de laag glad en bevat een bepaalde kleurstof. Bij een onbeschreven CD-R is deze kleurstoflaag doorzichtig. Als je op één plaats de laag verhit, met een korte laserpuls, wordt de kleurstof op die plaats ondoorzichtig zodat er geen licht meer door kan.



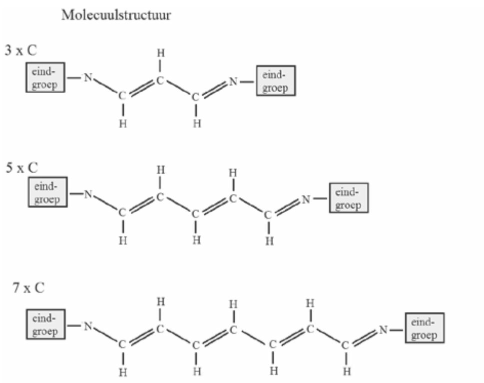
Door korte pulsen van de schrijflaser kan informatie zo worden weggeschreven in de vorm van doorzichtige en ondoorzichtige 'spots'.

Om een 'spot' te branden is een hoeveelheid energie nodig van $1{,}5 \cdot 10^{-9}$ J.
Deze wordt in de vorm van een korte lichtpuls door een brandlaser geleverd. Neem aan dat het rendement van deze energieoverdracht honderd procent is. De tijdsduur van een laserpuls is gelijk aan de tijdsduur tussen twee laserpulsen.
De laser heeft een vermogen van 75 mW.

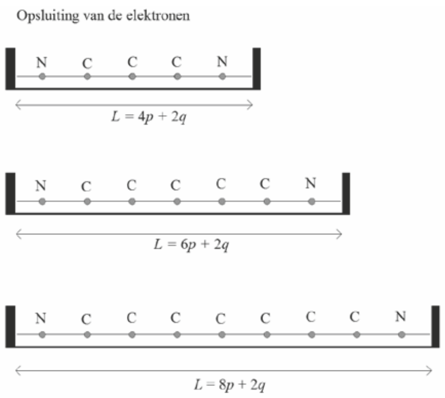
7 Bereken het maximum aantal 'spots' dat de laser per seconde kan branden.

Het rendement kan zeer hoog zijn als de spot een kleurstof bevat die in staat is licht te absorberen van dezelfde frequentie als dat van de laser.
Voor dit doel worden cyanine-kleurstoffen gebruikt.
Figuur 1 laat een aantal van deze moleculen zien.
In zo'n molecuul is steeds een aantal vrije elektronen aanwezig. Deze elektronen zitten opgesloten tussen de eindgroepen. Deze opsluiting is te beschrijven als deeltjes in een eendimensionale energieput met lengte L.
Zie figuur 2.

figuur 1



figuur 2

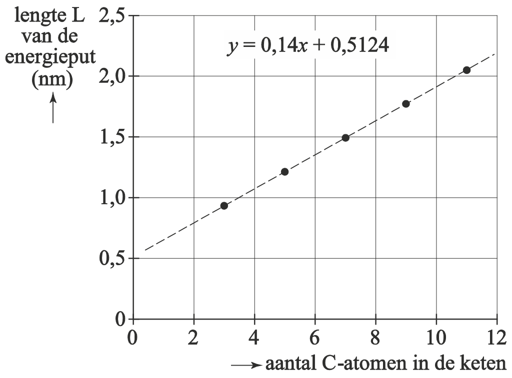


De onderlinge afstand tussen de C-atomen en de C- en N-atomen is steeds p; de afstand tussen de N-atomen en de eindgroep is steeds q.

In figuur 3 is lengte L uitgezet tegen het aantal C-atomen in de keten. De stippellijn is de trendlijn door de punten, de vergelijking van de trendlijn staat ook gegeven.

8 Bepaal de waarde van p en van q.

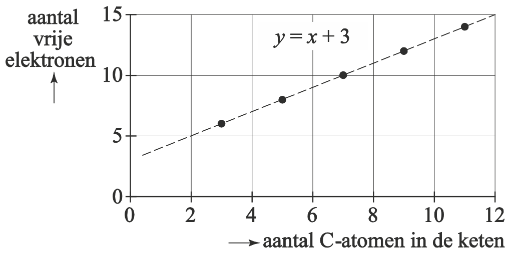
figuur 3



Het aantal vrije elektronen dat tussen de eindgroepen beweegt, hangt ook af van het aantal C-atomen in de keten. Dit is in figuur 4 weergegeven.

9 Beredeneer of het aantal elektronen per lengte-eenheid toeneemt, afneemt of gelijk blijft als de keten langer wordt.

figuur 4

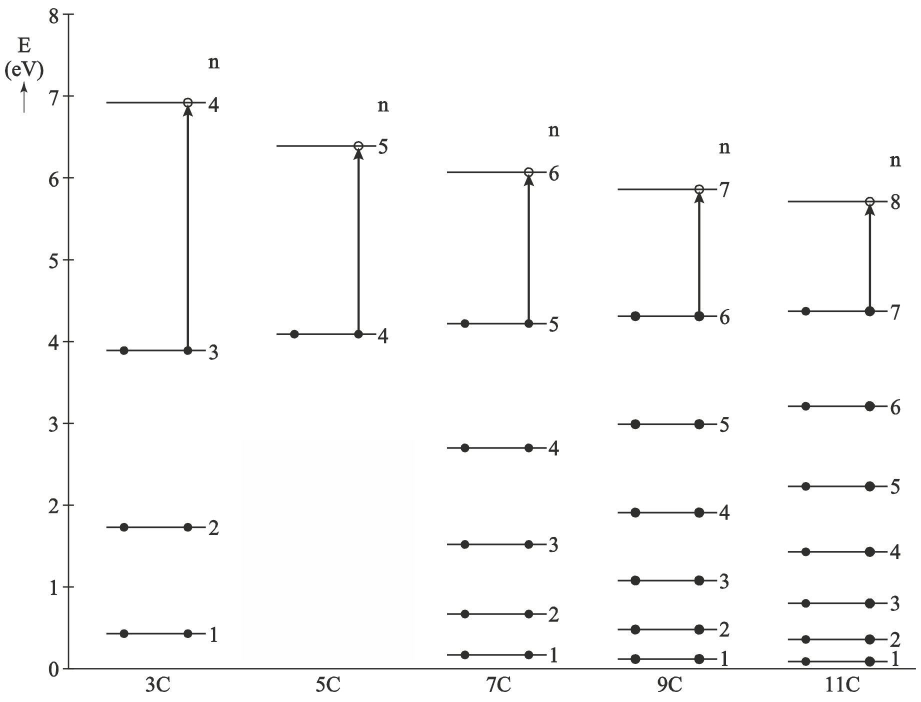


Voor de energieniveaus van de elektronen gelden de volgende regels:

– De energiewaarden van de niveaus kunnen berekend worden met het model ‘deeltje in een eendimensionale energieput’.
– Er zitten maximaal twee elektronen in hetzelfde energieniveau.
– De niveaus worden van onderaf opgevuld.

In figuur 5 zijn de energieniveaus van de elektronen bij vijf verschillende ketenlengtes weergegeven.

figuur 5



Bij een ketenlengte met 5 C-atomen zijn de niveaus 1, 2 en 3 weggelaten.

10 Voer de volgende opdrachten uit:

– Bereken de hoogte van de energie van de niveaus 1, 2 en 3 bij een ketenlengte van 5 C-atomen.
– Teken de energieniveaus in figuur 5.

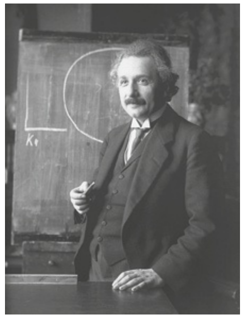
Absorptie van licht vindt plaats als een elektron in het hoogste gevulde niveau naar een niveau hoger springt. In figuur 5 is dit steeds met een pijl weergegeven.
De CD-R heeft een brand-laser met een golflengte van 800 nm.

11 Bepaal met behulp van figuur 5 welk van deze moleculen daarbij het beste als kleurstof kan worden gebruikt. Licht je antwoord toe met een berekening.

Opbrengst van het foto-elektrisch effect

Lees onderstaand artikel.

Om de straling van zwarte stralers te verklaren stelde Max Planck in 1900 de hypothese dat de stralingsenergie van zwarte stralers opgedeeld is in pakketjes met een energie *E* = *hf*. In 1905 stelde Einstein in zijn theorie van het foto-elektrisch effect dat het inderdaad om meetbare losse deeltjes gaat. Deze deeltjes kregen later de naam fotonen.



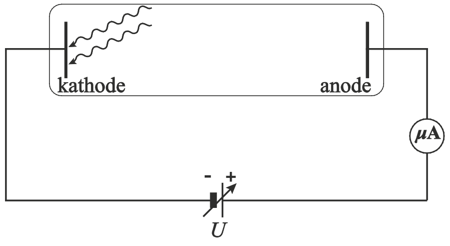
Het deeltjeskarakter van licht werd pas na veel weerstand door de natuurkundige wereld geaccepteerd. Zo heeft Millikan tot 1916 geprobeerd deze theorie te weerleggen.
Einstein ontving voor zijn idee in 1921 de Nobelprijs. Het tijdperk van de quantumfysica was definitief aangebroken.
Het heeft echter tot 1960 geduurd voordat men begreep dat het foto-elektrisch effect geen puur oppervlakteverschijnsel was, maar binnen in het metaal plaatsvindt.

Het foto-elektrisch effect wordt vaak aangetoond in een experiment zoals weergegeven in figuur 1.
In zo'n experiment wordt de kathode in een vacuümbuis beschenen door een laser met een golflengte λ = 410 nm en een vermogen van P = 3,0 mW.
Op de kathode komen dan elektronen vrij die naar de anode bewegen.
De stroomsterkte I in de kring wordt uitgezet tegen de spanning U.
Zie figuur 2.
Als de spanning hoger is dan U = 2,0 V, bereiken alle vrijgemaakte elektronen de anode.

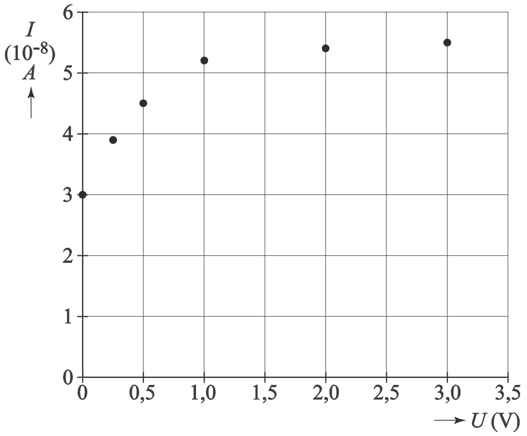
12 Beantwoord de volgende vragen:

– Hoe is dit te zien in figuur 2?
– Waarom bereiken bij een lagere spanning niet alle vrijgemaakte elektronen de anode?

figuur 1



figuur 2



Niet elk foton dat op de kathode valt, maakt een elektron vrij. Daarom spreekt men over het quantumrendement η_Q van een fotokathode.

Voor het quantumrendement geldt: $\eta_Q = \frac{n_e}{n_f}$. (1)

Hierin is:
- n_f het aantal fotonen dat per seconde het kathodeoppervlak treft;
- n_e het aantal elektronen dat per seconde de kathode verlaat.

Voor de maximale stroomsterkte I geldt: $I = \frac{\eta_Q e}{E_f} P_{licht}$. (2)

Hierin is:
- e elementair ladingsquantum;
- P_{licht} het vermogen van het opvallende licht;
- E_f de energie van een foton.

13 Leid formule (2) af met behulp van formule (1) en formules in Binas.

14 Bepaal het quantumrendement η_Q van deze fotokathode.

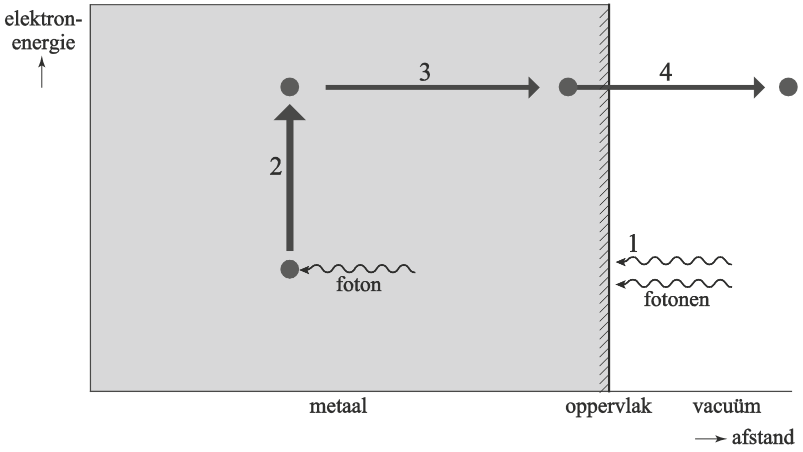
Er zijn duizenden fotonen nodig voor het vrijmaken van één elektron.
Toch vormt het foto-elektrisch effect een bewijs voor het individuele deeltjeskarakter van fotonen.
15 Leg uit waarom.

Chris wil weten hoe het komt dat het foto-elektrisch effect bij metalen zo'n laag quantumrendement η_Q heeft. Hij gebruikt hiervoor het model voor het foto-elektrisch effect dat in 1958 ontwikkeld is door de natuurkundige Spicer. Hierbij wordt het proces van het foto-elektrisch effect in de volgende vier stappen verdeeld:

1 terugkaatsing van een foton aan het buitenoppervlak van het metaal
2 absorptie van een foton door een elektron
3 transport van het elektron naar het oppervlak
4 ontsnappen van het elektron aan het oppervlak

Het proces is schematisch weergegeven in figuur 3.

figuur 3



In tabel 1 zijn karakteristieke waarden gegeven die Chris heeft gevonden voor de foto-elektrische deelprocessen van een fotokathode van koper, bestraald met fotonen van 4,8 eV.

tabel 1

stap	percentage
1	40% van de fotonen wordt gereflecteerd
2	83% van de fotonen wordt door elektronen geabsorbeerd
3	80% van de aangeslagen elektronen wordt verstrooid door botsingen
4a	4% van de aangeslagen elektronen hebben voldoende energie om te ontsnappen
4b	99% van de aangeslagen elektronen met voldoende energie treffen het oppervlak onder een zodanige hoek dat ze worden teruggekaatst

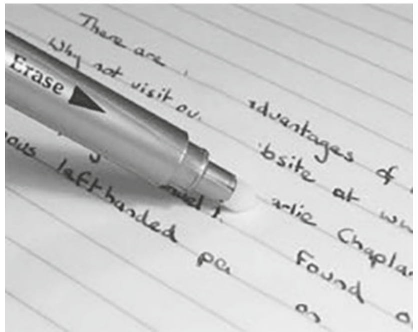
16 Bereken met behulp van tabel 1 het quantumrendement η_Q van de fotokathode.

Inktwisser

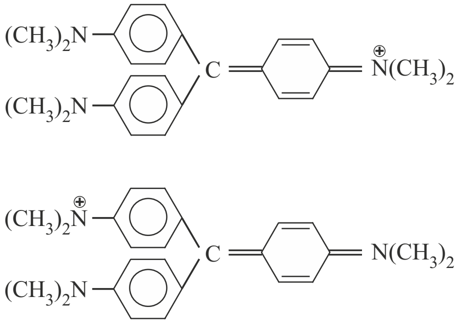
Met een inktwisser kun je lichtblauwe vulpeninkt onzichtbaar maken. Zie figuur 1.
In figuur 2 zie je tweemaal het molecuul van de blauwe kleurstof in de inkt. In het ene geval zit de positieve lading rechtsboven, in het tweede geval linksboven.
Door het molecuul kan één elektron namelijk vrij van links naar rechts bewegen. Het molecuul kan daarom opgevat worden als een energieput met lengte L.

De overgang van de grondtoestand van dit elektron naar de eerste aangeslagen toestand komt overeen met de energie van een foton uit het geel-groene deel van het spectrum met een golflengte van 550 nm. Het molecuul absorbeert deze fotonen. De rest van het licht wordt weerkaatst, dat zie je als lichtblauw.

figuur 1



figuur 2



17 Bereken uit de geabsorbeerde golflengte de lengte *L* van de energieput.

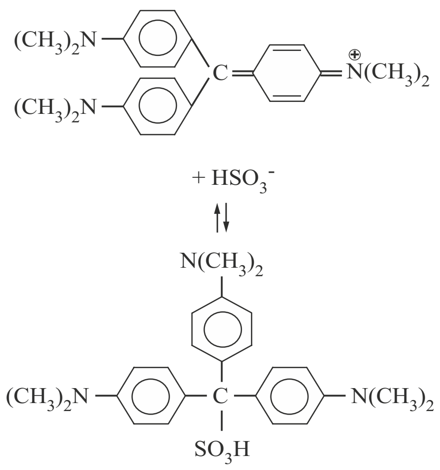
De inktwisser zorgt voor de reactie die je in figuur 3 ziet. In het molecuul dat ontstaat kunnen de elektronen niet meer langs het centrale koolstofatoom bewegen (door de aanwezigheid van de SO_3H-groep).
Hierdoor is de lengte van de energieput gehalveerd.
Het energieverschil tussen de grondtoestand en de eerste aangeslagen toestand wordt daardoor 4 keer zo groot.

18 Leg dat uit.

Het nieuwe molecuul is kleurloos.

19 Leg dit uit met behulp van een berekening en tabel 19 van Binas.

figuur 3



Hints bij hoofdstuk 10

1 Waar moet een lens worden geplaatst?

2 Wat is interferentie?

3 Wat zien we op het scherm als we in plaats van licht elektronen gebruiken?

4 Wat is de formule voor de debroglie-golflengte?

5 Wat is de lading van een neutron?

6 Moet de golflengte van de neutronen groter of kleiner zijn dan de afmetingen van het te bestuderen object?

7 De tijdsduur voor het branden van de spots is de helft van de totale tijd.

8 Zie figuur 2: x C-atomen hebben voor L een bijdrage van $(x + 1) \cdot p$.

9 Bepaal voor twee moleculen de verhouding van het aantal vrije elektronen en L.

10 Zie voor de energie van het n–de energieniveau: Binas 35E4.

11 Zie voor de energie van een foton: Binas 35E2.

12 – Wat gebeurt er met de stroomsterkte in figuur 2 als de spanning stijgt?
– Hebben alle vrijgemaakte elektronen dezelfde richting?

13 Welk verband is er tussen I en n_e en welk verband tussen P_{licht}, n_f en E_f?

14 Gebruik de formule $I = \frac{\eta_Q \cdot e}{E_f} \cdot P_{licht}$.

15 Wat gebeurt er als de frequentie van de fotonen lager wordt dan de grensfrequentie?

16 Vermenigvuldig de rendementen van de deelprocessen met elkaar.

17 Zie Binas 35E2 en 35E4.

18 Hoe luidt de formule voor een deeltje-in-een-doosje-model?

19 Als de energie van het foton 4 maal groter wordt, hoe groot wordt dan de golflengte?

Uitwerkingen bij hoofdstuk 10

Proef van Young

1 Zie de tekening.
Het licht van de lamp valt via de lens op twee spleten.
Op het scherm is het interferentiepatroon te zien.

2 Het patroon van figuur 1 is een interferentiepatroon. Interferentie treedt op als golven in fase elkaar versterken (maxima) en in tegenfase elkaar uitdoven (minima). Interferentie is dus een verschijnsel dat optreedt bij golven. Daarom is het interferentiepatroon van figuur 1 een argument voor het idee dat licht golfeigenschappen bezit.

3 Als het dubbelspleet-experiment wordt uitgevoerd met elektronen, is er op het scherm ook een interferentiepatroon te zien. Dat betekent dat elektronen dus ook een golfkarakter hebben. De golflengte van de elektronen wordt gegeven door de debroglie-golflengte.
Voor de debroglie-golflengte λ van het elektron geldt: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$
(Binas 35E4 en 35A3), waarin:
h = constante van Planck, p = impuls van het elektron, m = massa van het elektron en v = snelheid van het elektron.

Neutronenverstrooiing

4 Binnen het atoom gedragen zowel de elektronen als de atoomkern zich als een golf. Daardoor zijn de posities van zowel de elektronen als de atoomkern in zekere mate onbepaald. Voor de debroglie-golflengte λ van een deeltje geldt:

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$ (Binas 35E4 en 35A3), waarin:

h = constante van Planck, p = impuls van het deeltje, m = massa van het deeltje en v = snelheid van het deeltje.

De massa m_e van een elektron is veel kleiner dan de massa m_{At} van de atoomkern. Daardoor is de golflengte λ_e van het elektron veel groter dan de golflengte λ_{At} van de atoomkern en dus is de positie van het elektron veel minder scherp bepaald dan die van de atoomkern.

5 Neutronen hebben geen elektrische lading en ondervinden daardoor in de materie geen elektrische krachten.

6 Voor de debroglie-golflengte λ van een neutron geldt:

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$ (Binas 35E4 en 35A3), waarin:

h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
p = impuls van het neutron = $m \cdot v$ (Binas 35A3)
m = massa van het neutron = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B)
v = snelheid van het neutron = 10 m s^{-1}

Invullen: $\lambda = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 10} = 4{,}0 \cdot 10^{-8}$ m

©ThiemeMeulenhoff

Als men met neutronen DNA-structuren of bacteriën onderzoekt, mag de golflengte van deze neutronen niet groter zijn dan de afmetingen van deze structuren of bacteriën. Volgens Binas tabel 100 heeft een DNA-structuur een afmeting in de grootteorde van 10^{-9} à 10^{-8} m en heeft een bacterie een afmeting van 10^{-7} à 10^{-6} m. De golflengte van $4{,}0 \cdot 10^{-8}$ m van de neutronen is dus te groot voor het onderzoeken van molecuulstructuren van DNA, maar klein genoeg om details en structuren van bacteriën te kunnen registreren.

Kleurstof in een CD-R

7 Voor het maximale aantal 'spots' n_{max} dat de laser per seconde kan branden, geldt:

$n_{max} = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

T = tijdsduur tussen het begin van een laserpuls en het begin van de volgende puls = $2 \cdot \Delta t$, met:
Δt = tijdsduur van één laserpuls

We berekenen Δt met: $E_{spot} = P_{laser} \cdot \Delta t$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $\Delta t = \frac{E_{spot}}{P_{laser}}$, met:

E_{spot} = energie die nodig is om één 'spot' te branden = $1{,}5 \cdot 10^{-9}$ J
P_{laser} = vermogen van de laser = 75 mW = $75 \cdot 10^{-3}$ W

zodat: $\Delta t = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-9}}{75 \cdot 10^{-3}} = 2{,}0 \cdot 10^{-8}$ s

zodat: $T = 2 \cdot \Delta t = 2 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-8}$ s $= 4{,}0 \cdot 10^{-8}$ s

Invullen: $n_{max} = \frac{1}{4{,}0 \cdot 10^{-8}} = 2{,}5 \cdot 10^{7}\ s^{-1}$

8 De lengte L van de energieput hangt volgens figuur 2 lineair af van het aantal C-atomen in het cyanine-molecuul: voor elk C-atoom extra wordt L een stukje p langer.
Uit figuur 2 volgt voor een keten met x C-atomen:
$L = (x + 1) \cdot p + 2 \cdot q = p \cdot x + (p + 2 \cdot q)$
De vergelijking van de trendlijn in figuur 3 is: $y = L = 0{,}14 \cdot x + 0{,}5124$
Dus: $p = 0{,}14$ nm
en: $p + 2 \cdot q = 0{,}5124 \Rightarrow 0{,}14 + 2 \cdot q = 0{,}5124 \Rightarrow q = 0{,}19$ nm

9 *methode 1*
Kies in figuur 3 en figuur 4 twee moleculen die duidelijk verschillend zijn in grootte.
Voor een molecuul met 3 C-atomen vinden we in figuur 3: $L = 0{,}95$

In figuur 4 lezen we voor het aantal vrije elektronen n af: $n = 6 \Rightarrow \frac{n}{L} = \frac{6}{0{,}95} = 6{,}3$

Voor een molecuul met 11 C-atomen vinden we in figuur 3: $L = 2{,}05$

In figuur 4 lezen we voor het aantal vrije elektronen n af: $n = 14 \Rightarrow \frac{n}{L} = \frac{14}{2{,}05} = 6{,}8$

Als de keten langer wordt, neemt het aantal vrije elektronen per lengte-eenheid dus toe.

©ThiemeMeulenhoff

methode 2
Uit $y = 0{,}14 \cdot x + 0{,}5124$ (figuur 3) volgt dat als x (het aantal C-atomen) één groter wordt, dan wordt y (de lengte L van de energieput) 0,14 groter.
Uit $y = x + 3$ (figuur 4) volgt dat als x (het aantal C-atomen) één groter wordt, dan wordt y (het aantal vrije elektronen) ook één groter.
Het aantal vrije elektronen stijgt dus sneller dan de lengte van het molecuul: langere moleculen hebben dus meer vrije elektronen per lengte-eenheid.

methode 3
In $y = 0{,}14 \cdot x + 0{,}5124$ (figuur 3) stelt y de lengte L van de energieput voor en x het aantal C-atomen (c) $\Rightarrow$ $L = 0{,}14 \cdot c + 0{,}5124$ ...... (1)
In $y = x + 3$ (figuur 4) stelt y het aantal vrije elektronen n voor en x het aantal C-atomen (c) $\Rightarrow$ $n = c + 3$ $\Rightarrow$ $c = n - 3$ ...... (2)
We elimineren c door (2) te substitueren in (1) $\Rightarrow$
$L = 0{,}14 \cdot (n - 3) + 0{,}5124 = 0{,}14 \cdot n - 0{,}14 \cdot 3 + 0{,}5124 \Rightarrow L = 0{,}14 \cdot n + 0{,}0924 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{1}{0{,}14} = \frac{0{,}14 \cdot n}{0{,}14 \cdot L} + \frac{0{,}0924}{0{,}14 \cdot L} \Rightarrow 7{,}14 = \frac{n}{L} + \frac{0{,}66}{L} \Rightarrow \frac{n}{L} = 7{,}14 - \frac{0{,}66}{L} \Rightarrow$$

$\Rightarrow \frac{n}{L}$ wordt groter als L groter wordt.
Als de keten langer wordt, neemt het aantal vrije elektronen per lengte-eenheid dus toe.

10 *methode 1*
Voor het model 'deeltje in een ééndimensionale energieput' (doosje) geldt voor de energie van het n-de energieniveau E_n:

$$E_n = n^2 \cdot \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} \text{ (Binas 35E4)} \Rightarrow E_1 : E_2 : E_3 : E_4 = 1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2 = 1 : 4 : 9 : 16$$

Om E_1, E_2 en E_3 te bepalen kun je dus gebruikmaken van het feit dat E_4 (en E_5) in figuur 5 af te lezen zijn. Er geldt bijvoorbeeld:

$$E_4 = 4{,}1 \text{ eV} \Rightarrow E_1 = \frac{1}{16} \cdot E_4 = \frac{1}{16} \cdot 4{,}1 = 0{,}26 \text{ eV}$$

$$\Rightarrow E_2 = \frac{4}{16} \cdot E_4 = \frac{4}{16} \cdot 4{,}1 = 1{,}0 \text{ eV}$$

$$\Rightarrow E_3 = \frac{9}{16} \cdot E_4 = \frac{9}{16} \cdot 4{,}1 = 2{,}3 \text{ eV}$$

methode 2
Voor het model 'deeltje in een ééndimensionale energieput' (doosje) geldt voor de energie van het n-de energieniveau E_n: $E_n = n^2 \cdot \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot L^2}$ (Binas 35E4), waarin:

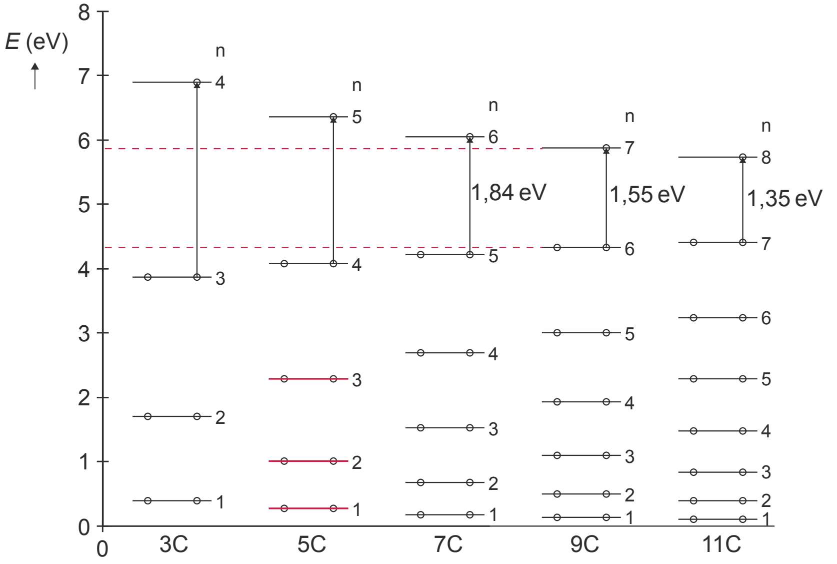
h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
m = massa van een elektron = $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg (Binas 7B)
L = lengte van de energieput van een cyaninemolecuul met 5 C-atomen = = 1,2 nm = $1{,}2 \cdot 10^{-9}$ m (afgelezen in figuur 3)
(Je kunt L ook berekenen met $L = (c + 1) \cdot p + 2 \cdot q = 6 \cdot p + 2 \cdot q$ (zie figuur 2))
Invullen:

$$E_1 = 1^2 \cdot \frac{(6{,}63 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot (1{,}2 \cdot 10^{-9})^2} = 4{,}19 \cdot 10^{-20} \text{ J} = \frac{4{,}19 \cdot 10^{-20}}{1{,}60 \cdot 10^{-19}} \text{ eV (Binas 5)} = 0{,}26 \text{ eV}$$

$n = 2 \Rightarrow E_2 = 2^2 \cdot E_1 = 4 \cdot 0{,}26 = 1{,}0$ eV

$n = 3 \Rightarrow E_3 = 3^2 \cdot E_1 = 9 \cdot 0{,}26 = 2{,}3$ eV

Zie de tekening (de ingetekende figuur 5 met de niveaus E_1, E_2 en E_3 voor een cyaninemolecuul met 5 C-atomen).



11 De stof die het beste als kleurstof gebruikt kan worden, moet fotonen met een golflengte van 800 nm goed kunnen absorberen.
De energie E_f van een dergelijk foton vinden we met:

$$E_f = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ (Binas 35E2), waarin:}$$

h = constante van Planck = $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
f = frequentie van het foton
c = lichtsnelheid = $2{,}998 \cdot 10^8$ m s^{-1} (Binas 7A)
λ = golflengte van het laserlicht = 800 nm = $800 \cdot 10^{-9}$ m
Invullen:

$$E_f = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}998 \cdot 10^8}{800 \cdot 10^{-9}} = 2{,}483 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{2{,}483 \cdot 10^{-19}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV (Binas 5)} = 1{,}55 \text{ eV}$$

De overgang tussen het hoogst gevulde niveau en de eerst aangeslagen toestand daarboven, die het meest overeenkomt met een energieverschil van 1,55 eV, is die van E_6 naar E_7 van het molecuul met 9 C-atomen (zie de tekening hierboven). Deze stof is dus het meest geschikt als kleurstof.

Opbrengst van het foto-elektrisch effect

12
- In figuur 2 lezen we af dat de stroomsterkte voor anodespanningen hoger dan 2,0 V niet meer stijgt. Dus alle vrijgemaakte elektronen bereiken de anode.
- De elektronen die door fotonen uit de kathode worden vrijgemaakt, veroorzaken in de kathode een positieve spanning, waardoor ze weer worden aangetrokken. Bovendien worden ze in diverse richtingen vrijgemaakt en zullen de anode pas bereiken als de anode voldoende positief is.
Bij lage anodespanning kunnen de elektronen bijvoorbeeld op de wand van de buis terechtkomen in plaats van op de anode.

13 De maximale stroomsterkte I is de maximale hoeveelheid lading die de anode per seconde bereikt. Er geldt dus: $I = n_e \cdot e$ ... (1)
Hierin is n_e het aantal elektronen dat per seconde de anode bereikt en e de lading van een elektron (het elementair ladingsquantum).
Verder geldt voor het vermogen P_{licht} van het opvallende licht:

$P_{licht} \cdot t = n_f \cdot E_f$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $n_f = \dfrac{P_{licht} \cdot t}{E_f}$ ... (2)

Hierin is n_f het aantal fotonen dat per seconde op de kathode valt, E_f is de energie van één foton en $t = 1$ s.

Verder geldt: $\eta_Q = \dfrac{n_e}{n_f}$ $\Rightarrow$ $n_e = n_f \cdot \eta_Q$ ... (3)

(3) invullen in (1) $\Rightarrow$ $I = n_e \cdot e = n_f \cdot \eta_Q \cdot e$ ... (1a)

(2) invullen in (1a) $\Rightarrow$ $I = \dfrac{P_{licht} \cdot 1}{E_f} \cdot \eta_Q \cdot e$ $\Rightarrow$ $I = \dfrac{\eta_Q \cdot e}{E_f} \cdot P_{licht}$

14 Het quantumrendement η_Q volgt uit: $I = \dfrac{\eta_Q \cdot e}{E_f} \cdot P_{licht} \Rightarrow$ $\eta_Q = \dfrac{I \cdot E_f}{e \cdot P_{licht}}$, waarin:

I = maximale stroomsterkte = $5{,}5 \cdot 10^{-8}$ A (afgelezen in figuur 2)
e = elementair ladingsquantum = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)

E_f = energie van één foton = $\dfrac{h \cdot c}{\lambda}$ (Binas 35E2), met:

h = constante van Planck = $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $2{,}998 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)
λ = golflengte van het laserlicht = 410 nm = $410 \cdot 10^{-9}$ m

zodat: $E_f = \dfrac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}}{410 \cdot 10^{-9}} = 4{,}85 \cdot 10^{-19}$ J

P_{licht} = 3,0 mW = $3{,}0 \cdot 10^{-3}$ W

Invullen: $\eta_Q = \dfrac{5{,}5 \cdot 10^{-8} \cdot 4{,}85 \cdot 10^{-19}}{1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-3}} = 5{,}6 \cdot 10^{-5}$

15 Als de energie van het foton te klein is (dus als de frequentie kleiner is dan een bepaalde waarde (de grensfrequentie)), treedt er geen foto-elektrisch effect op, ook al vergroot men de intensiteit van het opvallende licht. Meerdere fotonen werken dus niet samen. Het gaat er om of de energie van de afzonderlijke fotonen voldoende is.

16 We bepalen eerst de factor van de fotonen en elektronen die in de stappen 1, 2, 3, 4a en 4b overblijft voor het vrijmaken van een elektron dat de anode kan bereiken:

Stap 1:	40% van de fotonen wordt gereflecteerd, dus 60% blijft over	$\Rightarrow$ factor 0,60
Stap 2:	83% van de fotonen wordt door elektronen geabsorbeerd	$\Rightarrow$ factor 0,83
Stap 3:	80% van de aangeslagen elektronen wordt verstrooid door botsingen, dus 20% blijft over	$\Rightarrow$ factor 0,20
Stap 4a:	4% van de elektronen hebben voldoende energie om te ontsnappen	$\Rightarrow$ factor 0,04
Stap 4b:	99% van de elektronen met voldoende energie treffen het oppervlak onder een zodanige hoek dat ze worden teruggekaatst, dus 1% blijft over	$\Rightarrow$ factor 0,01

Het uiteindelijke rendement η_Q is dus: $0{,}60 \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}20 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}01 = 4 \cdot 10^{-5}$

Inktwisser

17 We berekenen de lengte L van de energieput met: $E_f = E_2 - E_1$ (Binas 35E2), waarin:

E_f = energie van een geabsorbeerd foton = $\dfrac{h \cdot c}{\lambda}$ (Binas 35E2)

E_2 = energie van het elektron in de eerste aangeslagen toestand ($n = 2$) = $= \dfrac{2^2 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2}$ (Binas 35E4)

E_1 = energie van het elektron in de grondtoestand = $\dfrac{1^2 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2}$ (Binas 35E4)

Invullen geeft de volgende vergelijking:

$\dfrac{h \cdot c}{\lambda} = \dfrac{2^2 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} - \dfrac{1^2 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} = \dfrac{3 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2}$ $\Rightarrow$ $L^2 = \dfrac{3 \cdot h \cdot \lambda}{8 \cdot m \cdot c}$, waarin:

h = constante van Planck = $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
λ = golflengte van een geabsorbeerd foton = 550 nm = $550 \cdot 10^{-9}$ m
m = massa van een elektron = $9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg (Binas 7B)
c = lichtsnelheid = $2{,}998 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)

Invullen: $L^2 = \dfrac{3 \cdot 6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 550 \cdot 10^{-9}}{8 \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}} = 5{,}004 \cdot 10^{-19}$ m^2 $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ $L = \sqrt{5{,}004 \cdot 10^{-19}} = 7{,}07 \cdot 10^{-10}$ m

18 Voor de energieniveaus in een energieput geldt: $E_n = \dfrac{n^2 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2}$ (Binas 35E4).
E_n is dus omgekeerd evenredig met L^2.
Als L een factor 2 kleiner wordt, dan wordt L^2 een factor 4 kleiner $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ E_n wordt viermaal zo groot.
Alle energiewaarden nemen dus met een factor 4 toe $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ het energieverschil tussen de niveaus neemt met een factor 4 toe.

19 Voor de golflengte λ van een geabsorbeerd foton geldt:

$E_f = \dfrac{h \cdot c}{\lambda}$ $\Rightarrow$ $\lambda = \dfrac{h \cdot c}{E_f}$ (Binas 35E2)

Als de energie E_f van het foton met een factor 4 toeneemt, neemt de golflengte met een factor 4 af.
De nieuwe golflengte $\lambda_{nw} = \frac{1}{4} \cdot \lambda = \frac{1}{4} \cdot 550 \cdot 10^{-9} = 138$ nm.

Volgens Binas tabel 19A/B bevindt deze golflengte zich in het ultraviolette deel van het spectrum. Ultraviolet is voor een mens niet zichtbaar, dus wordt er geen licht uit het zichtbare deel van het licht geabsorbeerd. Al het zichtbare licht wordt nu weerkaatst $\Rightarrow$ je ziet geen lichtblauwe letters meer, maar een wit papier.

Oefenen met hele examens, met hints om je op weg te helpen en uitleg bij de goede antwoorden.

Deel 2a Examens met uitwerkingen

Bij de uitwerkingen van de examens staan puntenverdelingen aangegeven. Het toekennen van deze scorepunten behoeft een extra uitleg bij vaak voorkomende situaties:

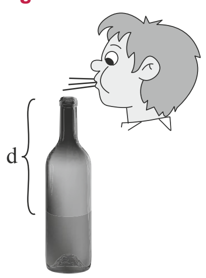
– Een scorepunt bij een formule krijg je pas als je de juiste formule hebt geselecteerd **én** voor minstens één grootheid de juiste waarde hebt ingevuld.
  Alleen het opschrijven van een formule levert **nooit** een scorepunt op.
– Als de waarden van twee of drie grootheden juist zijn opgezocht in Binas of ScienceData, levert dat meestal één scorepunt op. Heb je maar één waarde goed opgezocht, dan levert dat geen punt op. Halve scorepunten worden niet gegeven.
– Als een vraag moet worden afgesloten met een berekening, krijg je het laatste scorepunt niet als je:
  – een fout in de nauwkeurigheid van de uitkomst hebt gemaakt
  – een rekenfout hebt gemaakt
  – de eenheid van een uitkomst niet of fout vermeld hebt

Examen 2016-II

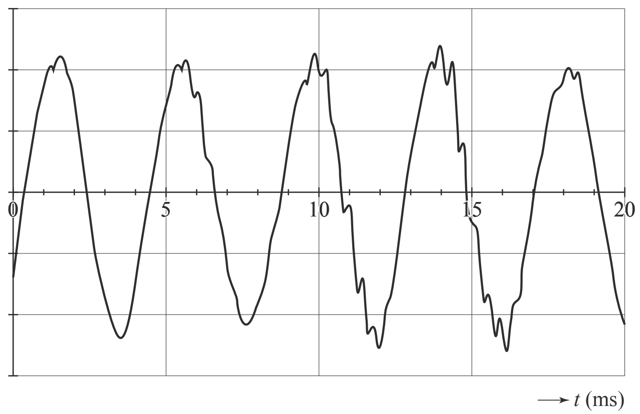
Onderzoek naar geluid uit een fles

Chiara en Michel doen onderzoek aan geluid uit een fles. Zij blazen lucht over de hals van een fles en horen geluid. De fles is gevuld met water tot een afstand *d* onder de flesopening. Zie figuur 1. Bij kamertemperatuur meten zij het geluid met een geluidssensor. Bij een afstand *d* = 13,0 cm vinden zij de grafiek van figuur 2.

figuur 1



figuur 2



Uit figuur 2 volgt dat de grondfrequentie van het geluid $2{,}4 \cdot 10^2$ Hz is.

2p **1** Toon dat aan.

Michel denkt dat dit geluid ontstaat doordat er in de fles een staande golf ontstaat met een knoop bij het wateroppervlak en een buik bij de flesopening. Met deze gegevens berekent Michel de geluidssnelheid en vindt een uitkomst die niet overeenkomt met de waarde in BiNaS.

3p **2** Voer de volgende opdrachten uit:
– Toon aan dat de berekende geluidssnelheid niet overeenkomt met die in BiNaS.
– Toon aan dat de gemeten frequentie geen boventoon kan zijn.

Chiara en Michel gaan op zoek naar een andere verklaring. Bij een excursie in het Teylers Museum zien zij een set helmholtz-resonatoren uit de 19e eeuw. Deze werden gebruikt om te analyseren welke toonhoogtes in een stem voorkwamen. Zie figuur 3. Eenmaal thuisgekomen vinden ze op internet een site over helmholtz-resonatoren en vinden de formule:

figuur 3

$$f = \frac{v}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{V\ell}}$$

Hierin is:
- v de geluidssnelheid in m s^{-1};
- A het oppervlak van de resonatoropening in m^2;
- V het volume van de lucht in de resonator in m^3;
- ℓ de lengte van de hals van de resonator in m.

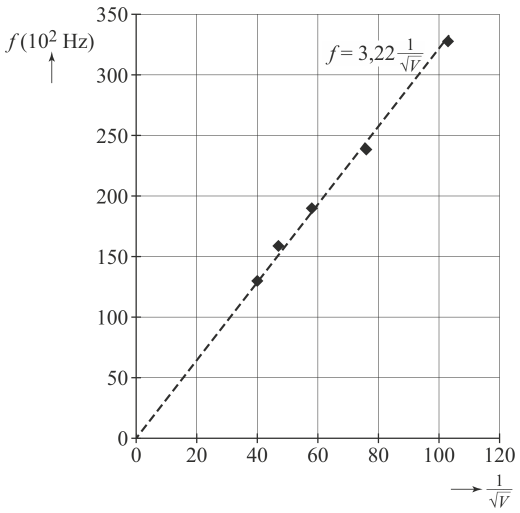
1p **3** Beschrijf een methode om het volume van de lucht in de fles te meten.

Chiara en Michel gaan deze formule op de fles toepassen.
Voor hun fles meten ze: $A = 2{,}54 \cdot 10^{-4}$ m^2 en $\ell = 0{,}070$ m.
Verder meten ze de frequentie als functie van het volume. Zie tabel 1.

tabel 1

V (10^{-6} m^3)	f (10^2 Hz)
94	3,3
172	2,4
298	1,9
448	1,6
630	1,3

figuur 4



Ze laten een rekenprogramma op de computer een coördinaat-transformatie toepassen. Daarna laten ze het programma een lijn (trendlijn) door de punten tekenen en de functie van die lijn bepalen. Zie figuur 4. De eenheid langs de horizontale as staat niet vermeld.

2p **4** Leg uit wat de eenheid langs de horizontale as moet zijn.

4p **5** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de reden dat de lijn door de oorsprong moet gaan.
- Bereken de geluidssnelheid met behulp van de gegeven functie.
- Leg uit of Chiara en Michel mogen concluderen dat hun proef beschreven mag worden met de formule van Helmholtz.

Je ziet dat de frequentie-metingen zijn gegeven in 2 significante cijfers, maar dat de helling van de getekende lijn gegeven is in 3 significante cijfers.

1p **6** Geef de reden dat hierbij het aantal significante cijfers toeneemt.

Thalliumscintigrafie

Thalliumscintigrafie is een techniek die gebruikt wordt om de doorbloeding van de hartspier te onderzoeken.

In het onderzoek wordt thallium-201 gebruikt. Deze isotoop ontstaat via twee reacties. Eerst wordt thallium-203 beschoten met een proton. Bij deze reactie ontstaat de isotoop lood-201. Uit het radioactieve verval van lood-201 ontstaat vervolgens thallium-201.

4p **7** Geef van beide kernreacties de reactievergelijking.

De isotoop thallium-201 is radioactief en vervalt via een proces dat K-vangst heet. Bij K-vangst neemt een atoomkern een elektron op uit de binnenste elektronenschil. Bij dit proces komt alleen γ-straling vrij.
Ook bij andere radioactieve stoffen die vervallen onder uitzending van α-straling of β-straling kan γ-straling vrijkomen. Toch wordt er in dit onderzoek gekozen voor een radioactieve stof die vervalt via K-vangst.

2p **8** Leg uit waarom.

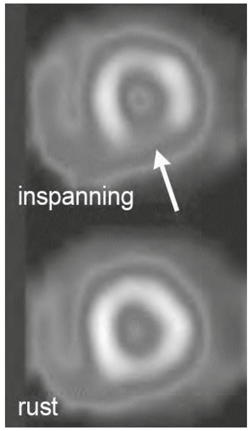
De hoeveelheid radioactieve stof die in het onderzoek gebruikt wordt, heeft een activiteit van 56 MBq. Thallium-201 heeft een halveringstijd van 3,04 dag.

3p **9** Bereken de massa van deze hoeveelheid thallium-201.

Bij het onderzoek wordt thallium-201 ingespoten bij de patiënt. Het thallium-201 hecht zich aan de bloedvaten in het hart. Van de uitgezonden γ-straling wordt met een γ-camera een afbeelding gemaakt.
Daarmee wordt een beeld gevormd dat een doorsnede geeft van een deel van het hart.
In figuur 1 staat die doorsnede weergegeven in een 'artist's impression'.
In figuur 2 zijn afbeeldingen van doorsnedes van de hartspier weergegeven, zowel bij inspanning (lopen of fietsen) als in rust.

figuur 1

figuur 2



Een lichtere kleur betekent een hogere concentratie γ-straling.
De afbeeldingen in figuur 2 kunnen inzicht geven in wat er met de hartspier mis is: een tijdelijke vernauwing of een permanente afsluiting (infarct) in de bloedvaten van het hart.

Er zijn vier diagnoses die een arts zou kunnen stellen:
1 Er is geen sprake van een vernauwing en geen sprake van een infarct.
2 Er is sprake van een vernauwing, maar geen sprake van een infarct.
3 Er is geen sprake van een vernauwing, maar wel van een infarct.
4 Er is sprake van zowel een vernauwing als een infarct.

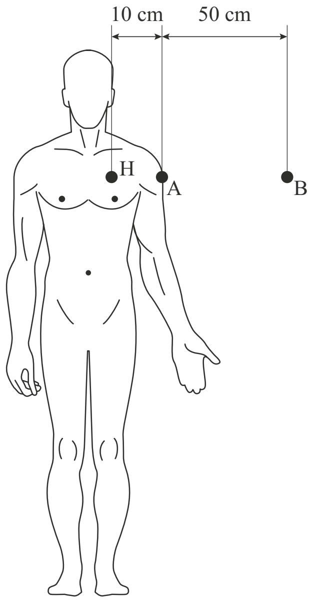
3p **10** Leg uit welke diagnose het best door de informatie van figuur 2 wordt ondersteund.

In de patiënten-informatie over thalliumscintigrafie staat:

Na afloop van het onderzoek blijft de radioactieve stof nog enige tijd in uw lichaam, waardoor u een minimale hoeveelheid straling uitzendt. Om personen in uw omgeving niet onnodig aan straling bloot te stellen, is het belangrijk dat u op de dag van het onderzoek een armlengte afstand tot andere mensen bewaart.

De stralingsintensiteit neemt af vanwege absorptie in het lichaam en vanwege de afstand tot de stralingsbron.
In figuur 3 zijn drie punten aangegeven: het hart H, punt A en punt B.
Het radioactieve hart H is te beschouwen als een puntbron.
De fotonen die bij het verval van thallium-201 vrijkomen hebben een energie van 0,10 MeV.

figuur 3



5p **11** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon met een berekening aan dat de absorptie van γ-straling tussen de punten A en B in de lucht verwaarloosbaar is.
- Bereken met welke factor de stralingsintensiteit in punt B is afgenomen in vergelijking met punt A.

Jupiter 'fly-by'

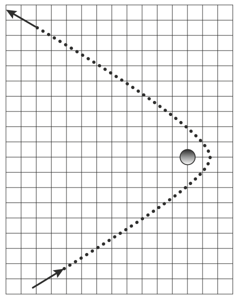
Lees het artikel.

Een ruimteverkenner (m = 1,0 ton) die het zonnestelsel wil verlaten, moet voldoende snelheid hebben om aan de aantrekkingskracht van de zon te ontsnappen. Daarom wordt een ruimteverkenner vaak bewust dicht langs planeten gestuurd, zodat hij gebruik kan maken van de aantrekkingskracht van een bewegende planeet. Dit noemt men een 'fly-by'. Door een fly-by langs Jupiter kregen ruimteverkenners als de Pioneers, de Voyagers en Ulysses extra snelheid om het zonnestelsel te kunnen verlaten.

Sanne en Christy bestuderen de fly-by. Daartoe stellen zij drie verschillende modellen op.

model 1
In dit model beweegt de verkenner om een stilstaande planeet. Zie figuur 1.
Christy beweert dat er uiteindelijk snelheidswinst ontstaat doordat de verkenner naar de planeet toe steeds sneller gaat.

figuur 1



1p **12** Waarom heeft Christy **geen** gelijk?

Om uiteindelijk snelheidswinst te boeken is het dus noodzakelijk dat de planeet zelf een snelheid heeft. Dit bestuderen ze in model 2.

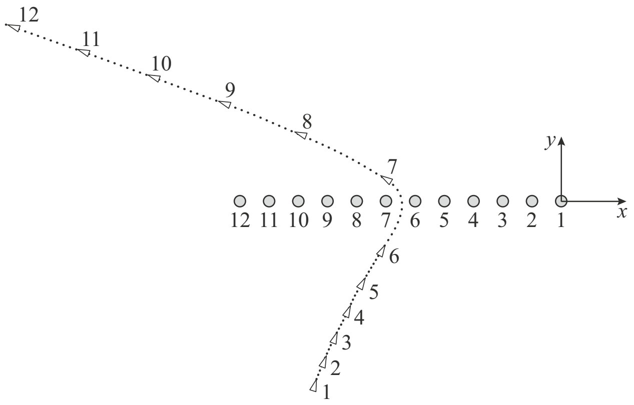
model 2
Als eerste berekenen ze dat de snelheid v_J van Jupiter in zijn baan om de zon gelijk is aan $1{,}3 \cdot 10^4$ m s^{-1}.

3p **13** Laat dit zien met een berekening.

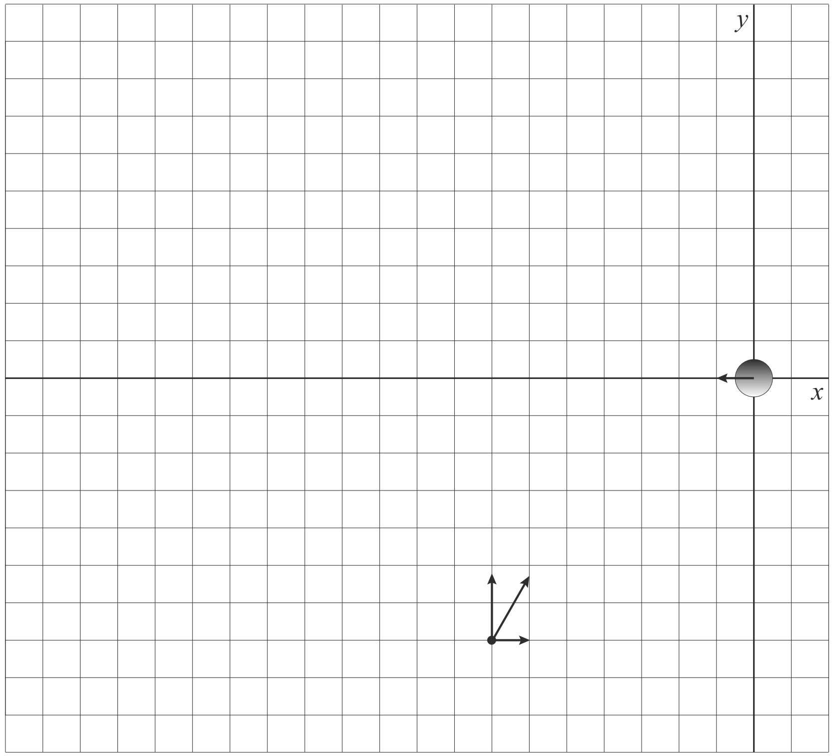
In model 2 stellen Sanne en Christy dat Jupiter een snelheid heeft in de negatieve *x*-richting. De verkenner beweegt op de manier die is aangegeven in figuur 2.
In figuur 2 zijn de posities van de verkenner en Jupiter op 12 tijdstippen weergegeven.

In figuur 3a is de situatie op tijdstip 1 weergegeven.
In figuur 3b is de situatie weergegeven als de verkenner het dichtst bij Jupiter is (ergens tussen de tijdstippen 6 en 7).
In figuur 3c is situatie op tijdstip 12 weergeven.

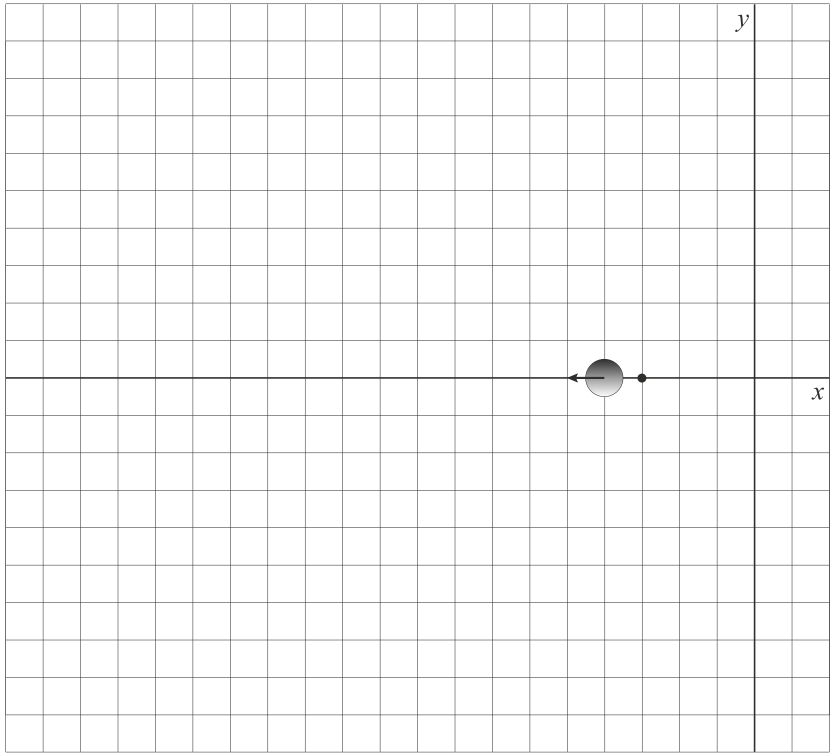
figuur 2



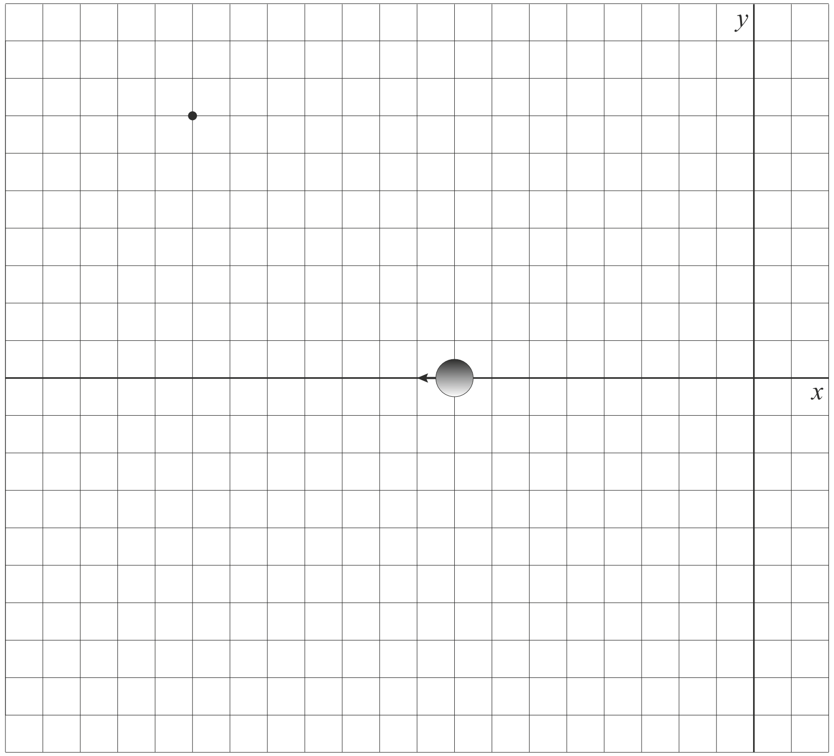
figuur 3a



figuur 3b



figuur 3c



De snelheid van de verkenner vóór de passage noemen ze v_{voor}, de snelheid ná de passage noemen ze v_{na}.
Model 2 levert eindsnelheden, die je kunt berekenen met de volgende formules:

$v_{na,x} = 2v_j - v_{voor,x}$ (1)
$v_{na,y} = v_{voor,y}$ (2)

De verkenner haalt maximale winst aan kinetische energie als hij op de heenweg **tegen** de bewegingsrichting van de planeet in beweegt.

1p **14** Waarom is dit zo?

De snelheidswinst ontstaat door het overdragen van de kinetische energie van de planeet op de verkenner. De snelheidsverandering van Jupiter daarbij is echter niet merkbaar.

2p **15** Leg dit uit.

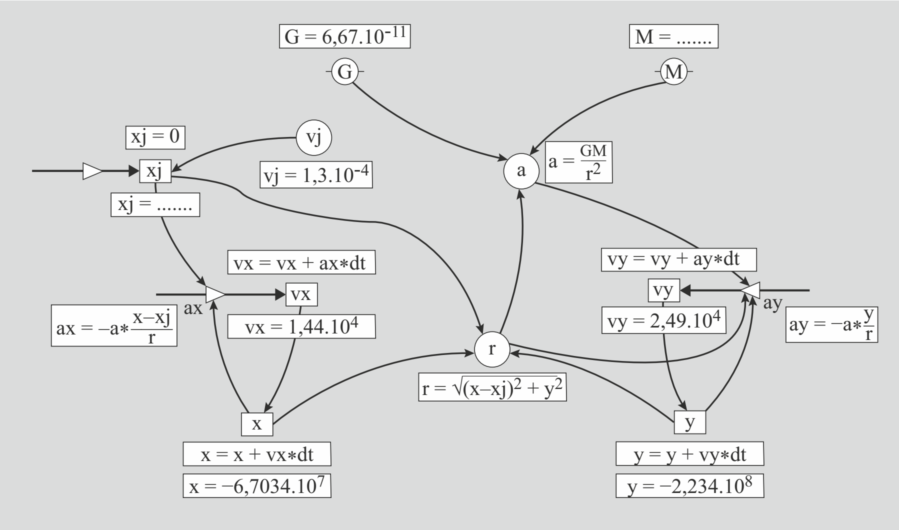
3p **16** Construeer met behulp van model 2 in figuur 3c de snelheidsvector $\vec{v}_{na}$ van de verkenner op de aangegeven plaats.

model 3
Dit is een computermodel.
Model 3 staat weergegeven in de figuren 4a en 4b.

figuur 4a

	Modelregels	Startwaarden (SI)
1	r = ((x - xj)^2 + y^2)^0,5	G = 6,67.10^-11
2	a = GM/r^2	M = ……..
3	ax = -a*(x - xj)/r	vx = 1,44.10^4
4	ay = -a*y/r	vy = 2,49.10^4
5	vx = vx + ax*dt	x = -6,7034.10^7
6	vy = vy + ay*dt	y = -2,234.10^8
7	x = x + vx*dt	xj = 0
8	y = y + vy*dt	vj = -1,3.10^4
9	xj = …...	t = 0
10	t = t + dt	dt = 5

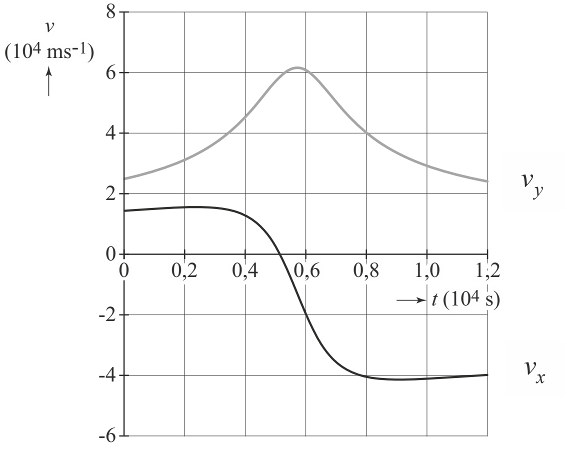
figuur 4b



3p **17** Voer over dit model de volgende opdrachten uit:
– Vul in figuur 4a of 4b de regel M = …….. aan.
– Vul in figuur 4a of 4b de regel xj = ……. aan.
– Geef aan waarom gerekend wordt met (x-xj) in plaats van met x.

De snelheden die volgen uit model 3 zijn weergegeven in figuur 5.

figuur 5



Model 2 van Sanne en Christy komt overeen met de snelheidsberekeningen van model 3 in figuur 5.

3p **18** Laat dit met behulp van getallen zien voor de formules (1) en (2).

Om op een bepaald *punt* uit het zonnestelsel te ontsnappen, moet de eindsnelheid v_{na} groter zijn dan een minimale waarde v_{min}.
Voor v_{min} geldt:

$$v_{min} = \sqrt{\frac{2GM_{zon}}{r}}.$$

Hierin is:
- M_{zon} de massa van de zon;
- r de afstand tussen de satelliet en de zon.

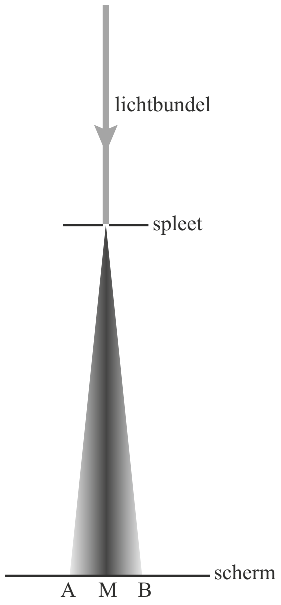
3p **19** Leid de formule voor v_{min} af met behulp van formules in BiNaS.

4p **20** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal de eindsnelheid v_{na} die uit model 3 volgt.
- Laat zien met een berekening of deze eindsnelheid voldoende is om uit het zonnestelsel te ontsnappen.

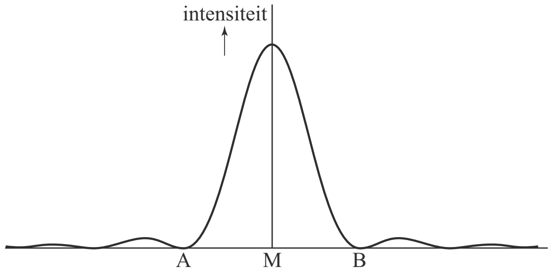
Buiging bij een enkelspleet

Een evenwijdige lichtbundel die door een nauwe spleet gaat, komt er divergent uit.
In figuur 1 is dit schematisch weergegeven.
Deze figuur is niet op schaal. Dit verschijnsel wordt buiging genoemd.
Op het scherm achter de spleet is tussen de punten A en B een lichtvlek te zien in plaats van één stip alleen in punt M. Links van A en rechts van B komt ook nog een klein beetje licht.
Figuur 2 laat zien hoe de lichtintensiteit op het scherm verloopt.

figuur 1



figuur 2

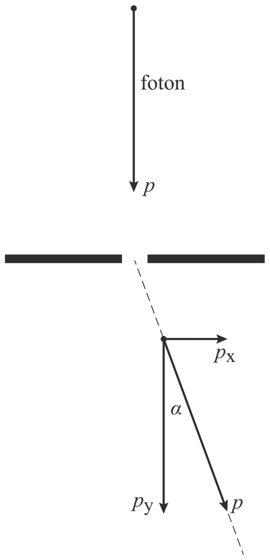


3p **21** Leg uit waarom in de punten A en B de lichtintensiteit nul is. Gebruik hierbij het begrip interferentie.

Een lichtbundel bestaat uit fotonen.
De fotonen die door de spleet gaan, hebben na de spleet niet allemaal dezelfde richting.
In figuur 3 is weergegeven hoe een foton na de spleet onder een hoek α naar het scherm gaat.
De impuls p van het foton is niet van grootte veranderd, maar wel van richting.
Figuur 3 is niet op schaal.

Voor de golflengte van het licht geldt:
$\lambda = 632{,}8$ nm; voor de horizontale component van de impuls van dit foton na de spleet geldt:
$p_x = 1{,}33 \cdot 10^{-29}$ kg m s^{-1}.

figuur 3



3p **22** Bereken de grootte van hoek α.

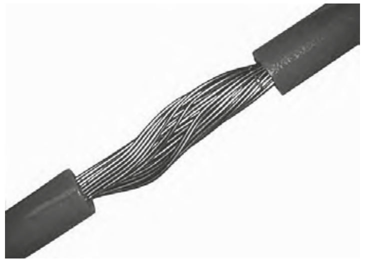
De meeste fotonen komen ergens tussen de punten A en B op het scherm, afhankelijk van de grootte en richting van de component p_x die het foton heeft gekregen bij het passeren van de spleet.
Als de in figuur 3 getekende lichtstraal net links van punt B uitkomt, mag de gegeven waarde van p_x beschouwd worden als de onbepaaldheid Δp zoals die voorkomt in de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg.

4p **23** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken de minimale waarde van Δx in dit geval volgens de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg.
- Geef aan of deze waarde van Δx betrekking heeft op de breedte van de spleet of op de afstand AB op het scherm.
- Leg uit wat er met de afstand AB gebeurt als de spleetbreedte kleiner wordt en de afstand van de spleet tot het scherm gelijk blijft.

Draadbreuk

Judith en Fons bestuderen 'samengestelde stroomdraden' die gebruikt worden bij proeven met lage gelijkspanning. Samengestelde draden bestaan uit een bundel niet geïsoleerde dunne koperdraadjes. Zie figuur 1.

figuur 1



Een voordeel is dat zo'n samengestelde draad soepeler is dan een draad van massief koper.
Fons noemt als ander voordeel dat de draad bij dezelfde lengte met dezelfde massa koper minder elektrische weerstand heeft dan een massieve draad van dezelfde lengte en dezelfde massa.

2p **24** Leg uit of Fons gelijk heeft.

De samenstelling van zo'n soepele draad wordt aangegeven met: $(n \times d)$.

Hierin is:
- *n* het aantal koperdraadjes;
- *d* de diameter van één draadje in mm.

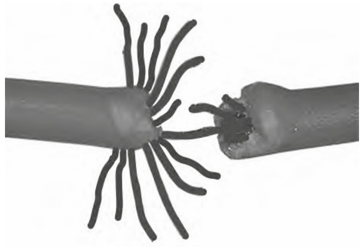
Een nadeel van samengestelde draden is de beperking van de stroomsterkte.
De 'maximale stroomdichtheid' van samengestelde draden (d < 0,5 mm) is 3,6 A mm^{-2}.

Fons bestudeert de eigenschappen van een samengestelde draad van 1,0 m met samenstelling: (30 × 0,10).

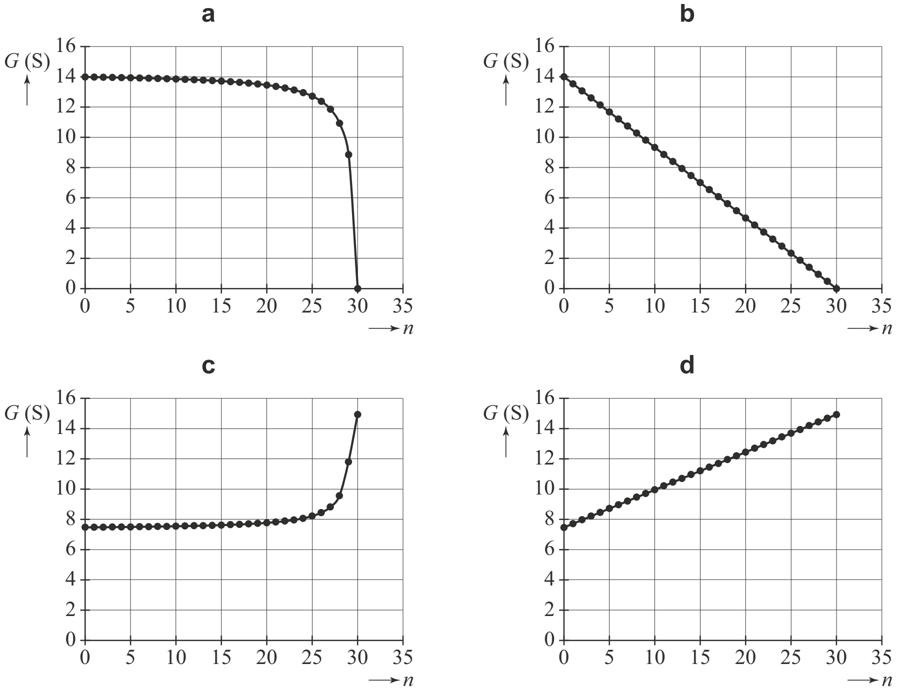
6p **25** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken de weerstand van deze samengestelde draad.
- Bereken de maximale spanning die over deze samengestelde draad mag staan.

Judith wil uitzoeken hoe de geleidbaarheid *G* van de totale draad van 1,0 m lengte verandert als ze de draadjes één voor één doorknipt en een klein stukje uit elkaar vouwt. In figuur 2 is een voorbeeld weergegeven (met minder dan 30 draadjes).
Zij tekent daartoe de vier diagrammen die staan weergegeven in figuur 3a tot en met 3d.

figuur 2



figuur 3



In elk diagram staat de geleidbaarheid *G* uitgezet tegen het aantal doorgeknipte draadjes *n*.

2p **26** Leg met behulp van de begrippen serie en/of parallel uit welk diagram het verloop van de geleidbaarheid *G* het best weergeeft.

Judith wil weten of er door het quantum-tunneleffect ook geleiding mogelijk is, als er in een draadje door een breuk een minieme luchtspleet ontstaat.
Door dit effect te vergelijken met de werking van de Scanning Tunneling Microscope (STM), die afstanden ter grootte van één atoom overbrugt, wil Judith een schatting maken van de *maximale* breedte van de luchtspleet waarbij het quantum-tunneleffect kan optreden.
Hieronder staan drie ordes van grootte van die schatting:
a 10^{-3} m, b 10^{-6} m, c 10^{-9} m

2p **27** Kies de beste schatting. Licht je antwoord toe.

Hints bij examen 2016-II

1 Bepaal de trillingstijd van de grondtoon met figuur 2.

2 – Zie Binas 35B1.
– Hebben boventonen een grotere of een kleinere golflengte dan de grondtoon?

3 Vul de fles met water.

4 Wat is de eenheid van volume?

5 – Wat betekent het voor de grafiek, als twee grootheden recht evenredig met elkaar zijn?
– Combineer de gegeven functie met de formule uit de opgave.
– Zie Binas 15A.

6 Wat is de zin van het tekenen van de rechte lijn in figuur 4?

7 Welke twee deeltjes staan links van de pijl?

8 Let op de absorptie van diverse soorten radioactieve straling.

9 Bereken eerst het aantal atoomkernen thallium-201.

10 Let in figuur 2 op het verschil in helderheid.

11 – Maak bij de berekening gebruik van de halveringsdikte van de γ-straling.
– Gebruik de kwadratenwet.

12 Denk aan de wet van behoud van energie.

13 Zie Binas 35A2 of Binas 35A4.

14 Zie formule 1.

15 Gebruik de wet van behoud van energie.

16 Gebruik voor het bepalen van de grootte van $\vec{v}_{na,x}$ en van $\vec{v}_{na,y}$ de formules 1 en 2.

17 – Zie Binas 31.
– Wat voor soort beweging voert Jupiter uit langs de x-as?
– Het gaat om de afstand tussen de verkenner en Jupiter.

18 Kies voor de snelheidsberekeningen de tijdstippen $t = 0$ en $t = 1{,}2 \cdot 10^4$ s.

19 Welke twee soorten energie heeft de verkenner?

20 – Gebruik de stelling van Pythagoras.
– Bedenk dat $r_{verkenner\text{-}zon} = r_{Jupiter\text{-}zon}$.

21 Bedenk dat beide kanten van de spleet een bron zijn.

22 Wat is het verband tussen λ, h en p?

23 – Zie Binas 35E4.
– Waar ontstaat de onbepaaldheid Δx en Δp ?
– Wat gebeurt er met de onbepaaldheid Δx ?

24 Wat is het verband tussen r, R, A en ℓ ?

25 – Bereken eerst de weerstand van 1 draadje.
– Bereken eerst de maximale stroomsterkte door de samengestelde draad.

26 Wat gebeurt er met de geleidbaarheid als er slechts één niet-geïsoleerd draadje wordt doorgeknipt?

27 Zie Binas 40A.

Uitwerkingen bij examen 2016-II

Onderzoek naar geluid uit een fles

2p **1** Voor de grondfrequentie f geldt: $f = \frac{1}{T}$ [1p] (Binas 35B1), waarin:
T = trillingstijd van de grondtoon
In figuur 2 lezen we af: $4{,}5 \cdot T = 19{,}2 - 0{,}4 = 18{,}8$ ms
zodat: $T = \frac{18{,}8}{4{,}5} = 4{,}18 \text{ ms} = 4{,}18 \cdot 10^{-3}$ s
Invullen: $f = \frac{1}{4{,}18 \cdot 10^{-3}} = 239 \text{ Hz} = 2{,}4 \cdot 10^2$ Hz [1p]

3p **2** – We berekenen de geluidssnelheid v in lucht met behulp van de aanname van Michel. Dan zou gelden: $v = f \cdot \lambda$ [1p] (Binas 35B1), waarin:
f = grondfrequentie = $2{,}4 \cdot 10^2$ Hz
λ = golflengte van de staande golf
Als er een staande golf ontstaat met een knoop K bij het wateroppervlak en een buik B bij de flesopening, geldt:
$KB = \frac{1}{4} \cdot \lambda = d = 13{,}0 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 4 \cdot 13{,}0 = 52{,}0 \text{ cm} = 52{,}0 \cdot 10^{-2}$ m
Invullen: $v = 2{,}4 \cdot 10^2 \cdot 52{,}0 \cdot 10^{-2} = 1{,}2 \cdot 10^2 \text{ m s}^{-1}$
Volgens Binas 15A is de geluidssnelheid in lucht bij kamertemperatuur 343 m s^{-1} [1p], dus de berekende geluidssnelheid komt daar niet mee overeen.
– Voor de boventonen geldt volgens Binas 35B1:
$d = (2n - 1) \cdot \frac{1}{4} \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot d}{2n - 1}$ (n = 2, 3, 4, ...), dus de boventonen hebben kleinere golflengten dan de grondtoon. Volgens $v = f \cdot \lambda$ ($f = 2{,}4 \cdot 10^2$ Hz) zou voor die waarden van λ de geluidssnelheid v nog kleiner zijn dan $1{,}2 \cdot 10^2 \text{ m s}^{-1}$. [1p]
De gemeten frequentie kan dus geen boventoon zijn.

1p **3** *methode 1*
We bepalen het volume van de lucht in de fles door eerst met behulp van een weegschaal de massa van de lege fles te meten. Vervolgens wordt de fles met water gevuld en wordt de massa opnieuw bepaald. Bereken het verschil Δm van deze twee massa's. Het volume van de lucht V is even groot als het volume V van het water, dus: $\rho = \frac{\Delta m}{V}$ (Binas 35C1) $\Rightarrow V = \frac{\Delta m}{\rho}$, met ρ = dichtheid van water.
methode 2
Vul de fles met water en bepaal het volume V van dit water (= volume V van de lucht), door het water in een maatbeker te gieten. Lees het volume van het water in de maatbeker af.

2p **4** Langs de horizontale as is de grootheid $\frac{1}{\sqrt{V}}$ uitgezet.
De eenheid van volume is m^3, dus de eenheid van $\frac{1}{\sqrt{V}}$ is:
$\frac{1}{\sqrt{m^3}} = \frac{1}{m^{\frac{3}{2}}} = m^{-\frac{3}{2}}$ [2p]

4p **5** – Uit de formule $f = \frac{v}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A}{V \cdot \ell}} = \frac{v}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A}{\ell}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V}}$ blijkt dat $f \sim \frac{1}{\sqrt{V}}$ [1p].

Het verband tussen f en $\frac{1}{\sqrt{V}}$ wordt dus in het diagram weergegeven door een rechte lijn door de oorsprong.

– We vinden de geluidssnelheid v met: $f = \frac{v}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A}{V \cdot \ell}} = \frac{v}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A}{\ell}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V}}$

Voor de functie van de lijn in figuur 4 geldt: $f = 3{,}22 \cdot \sqrt{\frac{1}{V}}$

Dus: $3{,}22 \cdot \sqrt{\frac{1}{V}} = \frac{v}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A}{\ell}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V}} \Rightarrow v = 3{,}22 \cdot 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{A}}$ [1p], waarin:

V = volume van de lucht in de resonator
A = oppervlakte van de resonatoropening = $2{,}54 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2$
ℓ = lengte van de hals van de resonator = 0,070 m

Invullen: $v = 3{,}22 \cdot 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0{,}070}{2{,}54 \cdot 10^{-4}}} = 336\ \text{m s}^{-1} = 3{,}4 \cdot 10^2\ \text{m s}^{-1}$ [1p]

– De geluidssnelheid v in lucht bij kamertemperatuur is 343 m s^{-1} (Binas 15A). De vijf meetpunten in figuur 4 liggen redelijk goed op een rechte lijn en de helling van deze lijn levert de waarde $v = 3{,}4 \cdot 10^2\ \text{m s}^{-1}$. Deze waarde komt overeen met de waarde in Binas. Chiara en Michel mogen dus concluderen dat hun proef beschreven mag worden met de formule van Helmholtz. [1p]

1p **6** Elke meting heeft een zekere meetfout. De rechte lijn gaat zo goed mogelijk 'door' de meetpunten, waardoor de meetfouten min of meer worden gemiddeld. De punten op de rechte lijn zijn dus nauwkeuriger dan de afzonderlijke meetpunten. Door gebruik te maken van de rechte lijn, wordt het aantal significante cijfers dus groter.

Thalliumscintigrafie

4p **7** *Eerste reactie:*

$^{203}_{81}\text{Tl} + {}^{1}_{1}\text{p}$ [1p] $\rightarrow {}^{201}_{82}\text{Pb} + 3 \cdot {}^{1}_{0}\text{n}$

- *Het atoomnummer van thallium (Tl) is 81 (Binas 40A, 25A of 99).*
- *Een proton wordt aangegeven met $^{1}_{1}$p.*
- *Het atoomnummer van lood is 82 (Binas 40A, 25A of 99).*
- *De som van de kernladingen moet links en rechts van de pijl gelijk zijn.*
  De totale kernlading links is 81 + 1 = 82.
  Rechts staat een Pb-kern en één of meer andere deeltjes.
  De totale kernlading van dat andere deeltje (of die andere deeltjes) is dus 82 – 82 = 0.
- *De som van de massagetallen moet links en rechts van de pijl gelijk zijn.*
  Links is de som van de massagetallen 203 + 1 = 204. Het massagetal van het andere deeltje of de andere deeltjes is in totaal dus 204 – 201 = 3.
  Er komen dus 3 neutronen $^{1}_{0}$n vrij. [1p]

Tweede reactie:

$^{201}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{201}_{81}\text{Tl} + {}^{0}_{1}\text{e}$

- *Voor de atoomnummers van Pb en Tl: zie eerste reactie.*
- *De som van de kernladingen moet links en rechts van de pijl hetzelfde zijn, dus de kernlading van het deeltje dat vrijkomt is 82 – 81 = 1.*
- *De som van de massagetallen moet links en rechts van de pijl hetzelfde zijn, dus het massagetal van het deeltje dat vrijkomt is 201 – 201 = 0.*
  Er komt dus een positron $^{1}_{0}$e vrij (β^+ verval). [2p]

2p **8** α- en β-straling hebben een lager doordringend vermogen dan de γ-straling en zullen dus meer door het lichaam worden geabsorbeerd. [1p]
Deze α- of β-straling zou dan stralingsschade in het lichaam kunnen aanbrengen. [1p]

3p **9** De massa m van deze hoeveelheid thallium-201 berekenen we met:

$m = N \cdot m_{\text{kern}}$, waarin:

N = aantal atoomkernen thallium-201

Er geldt: $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$ [1p] (Binas 35E3) $\Rightarrow N = \frac{A \cdot t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2}$, met:

A = activiteit van het thallium-201 = 56 MBq = $56 \cdot 10^6$ Bq

$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd van thallium-201 = 3,04 d = $3{,}04 \cdot 86400$ s (Binas 5)

zodat: $N = \frac{56 \cdot 10^6 \cdot 3{,}04 \cdot 86400}{\ln 2} = 2{,}12 \cdot 10^{13}$

m_{kern} = massa van een thallium-201-kern = $201 \cdot$ u [1p] $= 201 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 3{,}34 \cdot 10^{-25}$ kg
(u = atomaire massa-eenheid = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg, Binas 7B)

Invullen: $m = 2{,}12 \cdot 10^{13} \cdot 3{,}34 \cdot 10^{-25} = 7{,}1 \cdot 10^{-12}$ kg [1p]

3p **10** In figuur 2 zien we dat bij inspanning de kleur van de hartspier bij de pijl donkerder is dan bij rust. Bij rust is er op die plaats niets aan de hand. Bij inspanning is er op de plaats, aangegeven door de pijl, een lagere concentratie γ-straling en dus minder hechting van thallium-201. [1p] Dat duidt op een vernauwing van het bloedvat [1p], niet op een infarct. Diagnose 2 wordt dus het best ondersteund door de informatie van figuur 2. [1p]

5p **11** – We berekenen de absorptie van γ-straling tussen de punten A en B in de lucht met:

$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}}$ [1p] (Binas 35E3) $\Rightarrow I = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}}$, waarin:

I = intensiteit van de straling na het doorlopen van de afstand AB
I_0 = intensiteit van de straling voordat deze afstand wordt doorlopen
d = afstand AB = 50 cm = 0,50 m
$d_{\frac{1}{2}}$ = halveringsdikte van γ-straling met een energie van 0,1 MeV; deze is $3{,}7 \cdot 10^3$ cm = 37 m (Binas 28F)

Invullen: $I = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{0{,}50}{37}} = 0{,}991 \cdot I_0$ [1p]

Over afstand AB wordt dus minder dan 1% van de γ-straling geabsorbeerd. [1p]

– Voor de verhouding $\frac{I_A}{I_B}$ van de stralingsintensiteit I_A in punt A en I_B in punt B geldt:

$\frac{I_A}{I_B} = \frac{\frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r_A^2}}{\frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r_B^2}}$ [1p] (kwadratenwet; Binas 35B2) $= \frac{r_B^2}{r_A^2}$, waarin:

P_{bron} = vermogen van de puntbron H
r_A = HA = 10 cm
r_B = HB = 10 + 50 = 60 cm

Invullen: $\frac{I_A}{I_B} = \frac{60^2}{10^2} = 36$

De stralingsintensiteit is in punt B dus afgenomen met een factor 36 ten opzichte van punt A. [1p]

Jupiter 'fly-by'

1p **12** *methode 1*
Christy heeft ongelijk. Volgens de wet van behoud van energie kan de verkenner geen extra kinetische energie krijgen zonder dat er van buitenaf energie wordt toegevoerd.

methode 2
Christy heeft geen gelijk, want de snelheidswinst die de verkenner krijgt tijdens zijn beweging naar de planeet toe, wordt na de passage teniet gedaan tijdens de beweging van de planeet af.

3p **13** *methode 1*
We berekenen de snelheid v_j van Jupiter in zijn baan om de zon met:

$v_j = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ [1p] (Binas 35A2), waarin:

r = baanstraal van Jupiter = $0{,}7883 \cdot 10^{12}$ m (Binas 31)
T = omlooptijd van Jupiter = 11,86 y (Binas 31) = $11{,}86 \cdot 3{,}15 \cdot 10^{7}$ s (Binas 5) [1p]

Invullen: $v_j = \frac{2\pi \cdot 0{,}7883 \cdot 10^{12}}{11{,}86 \cdot 3{,}15 \cdot 10^{7}} = 1{,}3 \cdot 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$ [1p]

methode 2
Jupiter wordt in zijn baan gehouden door de middelpuntzoekende kracht F_{mpz}, die geleverd wordt door de gravitatiekracht F_g.

Dus: $F_{mpz} = F_g$ [1p] $\Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$ [1p] (Binas 35A2 en 35A4) $\Rightarrow$

$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$, waarin:

G = gravitatieconstante = $6{,}674 \cdot 10^{-11}\ \text{N m}^2\ \text{kg}^{-2}$ (Binas 7A)
m = massa van Jupiter
M = massa van de zon = $1{,}988 \cdot 10^{30}$ kg (Binas 32C)
r = baanstraal van Jupiter = $0{,}7883 \cdot 10^{12}$ m (Binas 31)

Invullen: $v = \sqrt{\frac{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}988 \cdot 10^{30}}{0{,}7883 \cdot 10^{12}}} = 1{,}3 \cdot 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$ [1p]

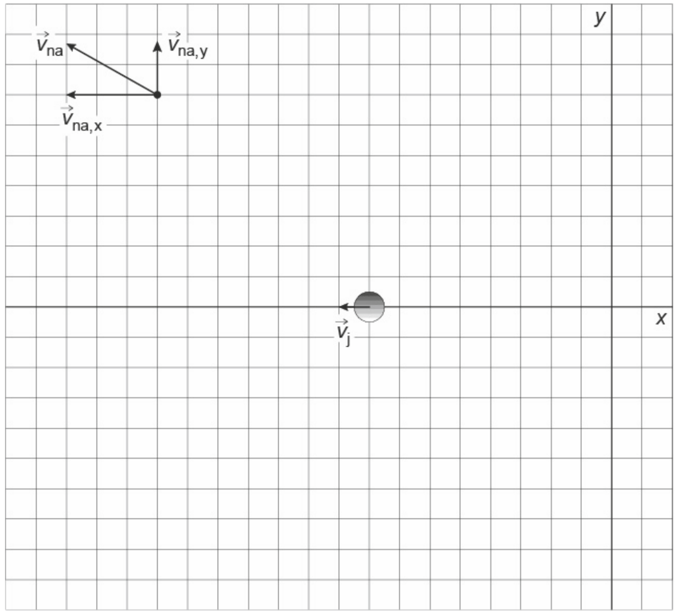
1p **14** De verkenner haalt maximale winst aan kinetische energie (en dus aan snelheid) als $|v_{na,x}|$ zo groot mogelijk is. Dan moet $|2v_j - v_{voor,x}|$ zo groot mogelijk zijn.
Dat is het geval als v_j en $v_{voor,x}$ tegengesteld gericht zijn aan elkaar.

2p **15** Voor de energiewinst ΔE_k van de verkenner, na overdracht van de kinetische energie van Jupiter op de verkenner, geldt: $\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(v_{na,x}^2 - v_{voor,x}^2\right)$ (Binas 35A4), waarin m = massa van de verkenner.
Volgens de wet van behoud van energie is dus de energiewinst van de verkenner gelijk aan het verlies van kinetische energie van Jupiter [1p], dus:

$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot M \cdot \left(v_{j,na}^2 - v_{j,voor}^2\right)$, waarin M = massa van Jupiter.

Nu is $M = 1900 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31) en m = 1,0 ton = $1{,}0 \cdot 10^{3}$ kg (Binas 5),
dus: $M >> m$. [1p] Dan is $\left(v_{j,na}^2 - v_{j,voor}^2\right)$ dus verwaarloosbaar klein;
de snelheidsverandering van Jupiter zal niet merkbaar zijn.

3p **16** Zie de tekening (de ingevulde figuur 3c).



Voor $\vec{v}_{na,y}$ van de verkenner geldt: $\vec{v}_{na,y} = \vec{v}_{voor,y}$, dus de vector $\vec{v}_{na,y}$ in de tekening is even lang als de vector $\vec{v}_{voor,y}$ in figuur 3a en heeft dezelfde richting. [1p]
Voor $v_{na,x}$ van de verkenner geldt: $v_{na,x} = 2 \cdot v_j - v_{voor,x}$ [1p]
De vector $\vec{v}_j$ in de tekening is een pijl naar links met een lengte gelijk aan de roosterafstand en $-\vec{v}_{voor,x}$ is ook een pijl naar links met een lengte gelijk aan de roosterafstand (zie figuur 3a). Dus: de vector $\vec{v}_{na,x} = 2 \cdot \vec{v}_j - \vec{v}_{voor,x}$ is een pijl naar links met een lengte van driemaal de roosterafstand.
$\vec{v}_{na}$ is de resultante van $\vec{v}_{na,x}$ en $\vec{v}_{na,y}$ (parallellogramconstructie). [1p]

3p **17**
- In de figuren 4a of 4b vullen we in: M = $1{,}9 \cdot 10^{27}$ [1p]
  M is de massa van Jupiter in kg, zie Binas 31.
- In de figuren 4a of 4b vullen we in: xj = xj + vj * dt [1p]
  Jupiter voert in de x-richting een eenparige beweging uit (zie figuur 2), dus geldt:
  $\Delta x = v \cdot \Delta t$ (Binas 35A1) $\Rightarrow$ $xj = xj + \Delta x$
- De positie van de verkenner in de x-richting wordt gerelateerd aan de positie van Jupiter in de x-richting. Dus (x – xj) is op elk tijdstip de horizontale afstand tussen de verkenner en Jupiter. [1p]

3p **18** Met betrekking tot model 3 lezen we in de figuren 4a of 4b en 5 af:
vóór de passage op t = 0: $v_{voor,x} = 1{,}44 \cdot 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$ en $v_{voor,y} = 2{,}49 \cdot 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$
na de passage op $t = 1{,}2 \cdot 10^{4}$ s: $v_{na,x} = -4{,}0 \cdot 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$ en $v_{na,y} = 2{,}49 \cdot 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$ [1p]
Met betrekking tot model 2 vinden we het volgende:
formule 1: $v_{na,x} = 2 \cdot v_j - v_{voor,x} = 2 \cdot (-1{,}3 \cdot 10^{4}) - 1{,}44 \cdot 10^{4}$ [1p] $= -4{,}0 \cdot 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$
formule 2: $v_{na,y} = v_{voor,y} = 2{,}49 \cdot 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$
De formules in model 2 stemmen dus overeen met de snelheidsberekeningen in model 3. [1p]

3p **19** Als de satelliet zich verder van de zon af beweegt, wordt zijn kinetische energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4) kleiner en zijn gravitatie-energie $E_g = -G \cdot \frac{m \cdot M_{zon}}{r}$ [1p] (Binas 35A5) groter. [1p]
De satelliet ontsnapt uit het zonnestelsel als zijn gravitatie-energie nul wordt.
Bij de minimale snelheid v_{min} van de satelliet die nodig is om uit het zonnestelsel te ontsnappen, zal de afname van de kinetische energie gelijk zijn aan de toename van de gravitatie-energie.
Dus: $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{min}{}^2 = G \cdot \frac{m \cdot M_{zon}}{r} \Rightarrow v_{min}{}^2 = \frac{2 \cdot G \cdot M_{zon}}{r} \Rightarrow v_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M_{zon}}{r}}$ [1p]

4p **20** – Voor de eindsnelheid v_{na} van de verkenner na de passage geldt:

$v_{na} = \sqrt{v_{na,x}{}^2 + v_{na,y}{}^2}$ [1p] (zie tekening bij vraag 16), waarin:

$v_{na,x}$ = – 4,0 · 10^4 m s^{-1} (zie figuur 5)
$v_{na,y}$ = 2,49 · 10^4 m s^{-1} (zie de figuren 4a, 4b of 5)

Invullen: $v_{na} = \sqrt{(-4{,}0 \cdot 10^4)^2 + (2{,}49 \cdot 10^4)^2} = 4{,}7 \cdot 10^4$ m s^{-1} [1p]

– We gaan na of deze eindsnelheid (4,7 · 10^4 m s^{-1}) groter is dan de minimale snelheid v_{min} die nodig is om uit het zonnestelsel te ontsnappen.

Er geldt: $v_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M_{zon}}{r}}$, waarin:

G = gravitatieconstante = 6,67 · 10^{-11} N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
M_{zon} = massa van de zon = 1,988 · 10^{30} kg (Binas 32C)
r = afstand tussen de satelliet en de zon = afstand tussen Jupiter en de zon = = baanstraal van Jupiter = 0,7883 · 10^{12} m [1p] (Binas 31)

Invullen: $v_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}988 \cdot 10^{30}}{0{,}7883 \cdot 10^{12}}} = 1{,}83 \cdot 10^4$ m s^{-1}

De snelheid van de satelliet is nu inderdaad groot genoeg om uit het zonnestelsel te ontsnappen. [1p]

Buiging bij een enkelspleet

3p **21** Licht dat op een spleet valt vertoont een golfkarakter. In het punt A interfereren lichtstralen die afkomstig zijn van de linker- en de rechterhelft van de spleet.
De lichtstralen van beide helften hebben in punt A een verschil in weglengte [1p], waardoor er tussen deze lichtstralen een faseverschil $\Delta\varphi = \frac{1}{2}$ [1p] optreedt. Dit faseverschil leidt tot uitdoving in punt A. [1p]

3p **22** We bepalen de grootte van hoek α met: $\sin \alpha = \frac{p_x}{p}$ [1p] (zie figuur 3), waarin:

p_x = horizontale component van de impuls van het foton na de spleet = = 1,33 · 10^{-29} kg m s^{-1}
p = impuls van het foton na de spleet

Er geldt: $\lambda = \frac{h}{p}$ [1p] (Binas 35E4) $\Rightarrow p = \frac{h}{\lambda}$, met:

h = constante van Planck = 6,626 · 10^{-34} J s (Binas 7A)
λ = golflengte van het licht = 632,8 nm = 632,8 · 10^{-9} m

zodat: $p = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{632{,}8 \cdot 10^{-9}} = 1{,}047 \cdot 10^{-27}$ kg m s^{-1}

Invullen: $\sin \alpha = \frac{1{,}33 \cdot 10^{-29}}{1{,}047 \cdot 10^{-27}} = 0{,}0127 \Rightarrow \alpha = 0{,}728^\circ$ [1p]

©ThiemeMeulenhoff

4p **23** – Volgens de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg (Binas 35E4) geldt:

$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ [1p] $\Rightarrow \Delta x \geq \frac{h}{4\pi \cdot \Delta p}$, dus
voor de minimale waarde Δx_{min} geldt in dit geval: $\Delta x_{min} = \frac{h}{4\pi \cdot \Delta p}$, waarin:

h = constante van Planck = 6,626 · 10^{-34} J s (Binas 7A)
Δp = onbepaaldheid in de impuls = p_x = 1,33 · 10^{-29} kg m s^{-1}

Invullen: $\Delta x_{min} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{4\pi \cdot 1{,}33 \cdot 10^{-29}} = 3{,}96 \cdot 10^{-6}$ m [1p]

– De onbepaaldheid van de afstand (Δx) en van de impuls in de *x*-richting (p_x) ontstaat in de smalle spleetopening. De waarde Δx heeft dus betrekking op de breedte van de spleet en niet op de afstand *AB* op het scherm. [1p]
Als het scherm verder weg wordt geplaatst, wordt AB groter, terwijl Δx dan nog even groot is.
– Als de afstand tussen de spleet en het scherm gelijk blijft en de spleetbreedte wordt kleiner, wordt de onbepaaldheid Δx van de afstand kleiner. Volgens de onzekerheidsrelatie van Heisenberg ($\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$) wordt de onbepaaldheid van de impuls Δp dan groter.
Daardoor wordt de hoek α groter en dus ook de afstand *AB*. [1p]

Draadbreuk

2p **24** Fons heeft geen gelijk.
Voor de weerstand R van een massieve draad geldt:
$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$, waarin ρ = soortelijke weerstand van koper, ℓ = lengte van de draad en A = doorsnede van de draad.
Als de samengestelde draad dezelfde lengte ℓ en dezelfde massa m aan koper heeft als de massieve draad, zal de totale doorsnede A van de samengestelde draad even groot zijn als die van de massieve draad. [1p] De weerstand R van de samengestelde draad is dus even groot als die van de massieve draad. [1p]

6p **25** – Voor de weerstand R van deze samengestelde draad geldt:

$G = n \cdot G_1 \Rightarrow \frac{1}{R} = n \cdot \frac{1}{R_1} \Rightarrow R = \frac{R_1}{n}$ [1p] (Binas 35D1), waarin:

G = geleidbaarheid van de totale draad
n = aantal dunne koperdraden = 30
G_1 = geleidbaarheid van één draadje
R_1 = weerstand van één draadje

Er geldt: $\rho = \frac{R_1 \cdot A_1}{\ell}$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow R_1 = \frac{\rho \cdot \ell}{A_1}$, met:

ρ = soortelijke weerstand van koper = 17 · 10^{-9} Ω m (Binas 8)
A_1 = doorsnede van één draadje = $\pi \cdot r_1{}^2 = \pi \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_1{}^2$ (Binas 36B), met:

r_1 = straal van de doorsnede van één draadje
d_1 = 2 · r_1 = diameter van één draadje = 0,10 mm = 0,10 · 10^{-3} m

zodat: $A_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0{,}10 \cdot 10^{-3})^2 = 7{,}85 \cdot 10^{-9}$ m^2

ℓ = lengte van de draad = 1,0 m

zodat: $R_1 = 17 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{1{,}0}{7{,}85 \cdot 10^{-9}} = 2{,}17$ Ω

Invullen: $R = \frac{2{,}17}{30} = 7{,}2 \cdot 10^{-2}$ Ω [1p]

©ThiemeMeulenhoff

– Voor de maximale spanning U_{max} die over deze samengestelde draad mag staan, geldt: $U_{max} = I_{max} \cdot R$ [1p] (Binas 35D1), waarin:
I_{max} = maximale stroomsterkte door de samengestelde draad
De 'maximale stroomdichtheid' van deze samengestelde draad is 3,6 A mm^{-2}, zodat $I_{max} = 3{,}6 \cdot A_{tot}$ [1p] $= 3{,}6 \cdot 30 \cdot A_1 = 3{,}6 \cdot 30 \cdot \frac{1}{4}\pi \cdot (d_1)^2 =$
$= 3{,}6 \cdot 30 \cdot \frac{1}{4}\pi \cdot (0{,}10)^2 = 0{,}85$ A
(A_{tot} = doorsnede van de samengestelde draad in mm^2, A_1 = doorsnede van één draadje in mm^2 en d_1 = diameter van één draadje in mm)
R = weerstand van de samengestelde draad = $7{,}2 \cdot 10^{-2}\ \Omega$ (zie vorig antwoord)
Invullen: $U_{max} = 0{,}85 \cdot 7{,}2 \cdot 10^{-2} = 0{,}061$ V [1p] (= 61 mV)

2p **26** Als er geen draadjes zijn doorgeknipt, geldt voor de geleidbaarheid G van de samengestelde draad: $G = \frac{1}{R}$ (Binas 35D1) $= \frac{1}{7{,}2 \cdot 10^{-2}}$ (zie antwoord 25) = 14 S
De diagrammen c en d kunnen het verloop van de geleidbaarheid dus niet weergeven.
Als er één draadje wordt doorgeknipt en omgebogen over een korte afstand, staan er 30 parallelle draadjes van iets minder dan 1,0 m lengte in serie met een kort stukje van de samengestelde draad waar 29 draadjes lopen. [1p] De geleidbaarheid G van de samengestelde draad zal daardoor maar heel weinig kleiner worden. Ook na het doorknippen van het tweede draadje zal de geleidbaarheid maar heel weinig kleiner worden. Diagram a geeft deze situatie dus het beste weer. [1p]
Als het laatste draadje is doorgeknipt, is R oneindig groot, dus de geleidbaarheid $G = \frac{1}{R}$ *is dan 0. Om die reden voldoen diagram c en d ook al niet.*
Als alle draadjes ten opzichte van elkaar geïsoleerd zouden zijn geweest, zou de geleidbaarheid van de samengestelde draad met het doorknippen van de draadjes steeds met een gelijke stap kleiner zijn geworden (zie diagram b).

2p **27** De maximale breedte van een luchtspleet waarbij het quantum-tunneleffect kan optreden is een afstand ter grootte van één atoom. Deze afstand ligt in de orde van grootte van 10^{-10} m tot 10^{-9} m [1p] (Binas 40A).
Dus c is de beste schatting. [1p]

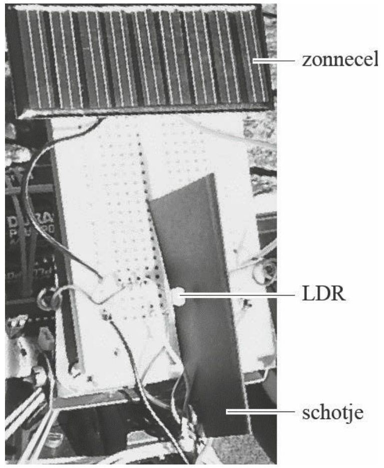
©ThiemeMeulenhoff

Examen 2017-I

Zonvolgsysteem

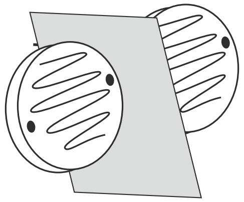
Tammo en Jelle hebben voor hun profielwerkstuk een 'zonvolgsysteem' gemaakt. Dit is een opstelling met een zonnepaneel dat meedraait met de zon, zodat het zonnepaneel steeds loodrecht op de invallende zonnestralen staat. Het zonvolgsysteem bevat onder andere twee exact dezelfde LDR's (light dependent resistor) met daartussen een schotje.
Zie figuur 1 en figuur 2.

figuur 1

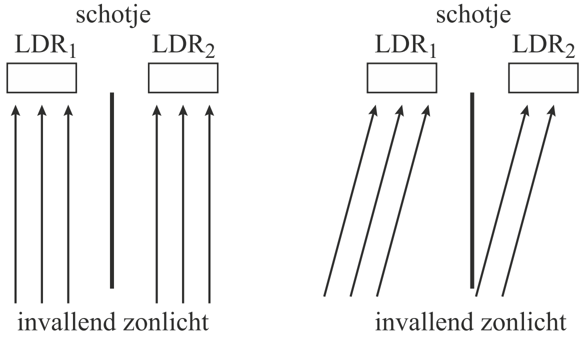


Als de zon niet recht boven de twee LDR's staat, valt er een schaduw van het schotje op één van de twee LDR's.
Zie figuur 3.

figuur 2



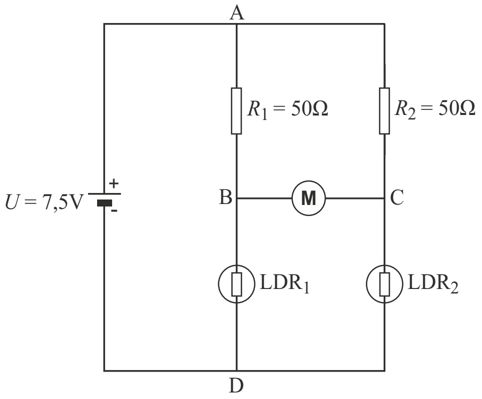
figuur 3



begin | een tijdje later

Tammo en Jelle plaatsen de twee LDR's in een schakeling met een elektromotor die de opstelling met het zonnepaneel kan laten draaien. Het schakelschema van het zonvolgsysteem staat in figuur 4.

figuur 4

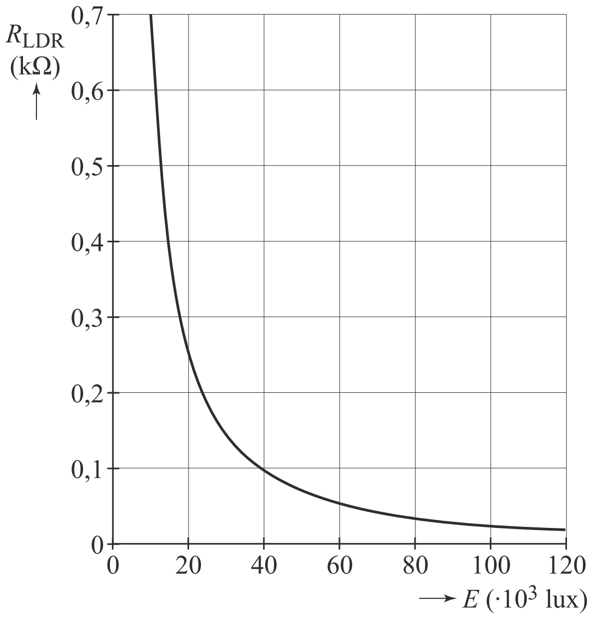


Om de schakeling te testen laten ze op beide LDR's evenveel licht vallen, zodat de weerstand van beide LDR's gelijk is.

2p **1** Leg uit dat er in dit geval geen elektrische stroom door de motor loopt.

In deze situatie levert de voeding een elektrische stroom van 100 mA.
De grootte van de weerstand van één zo'n LDR als functie van de verlichtingssterkte *E* in lux staat in figuur 5 weergegeven.

figuur 5



3p **2** Bepaal de verlichtingssterkte op een LDR in deze situatie.

Tammo en Jelle zetten het zonvolgsysteem met het zonnepaneel en de twee LDR's loodrecht op het zonlicht. Door het draaien van de aarde valt er na verloop van tijd een schaduw van het schotje op LDR_2, zoals weergegeven in figuur 3. De richting van de stroom tussen B en C bepaalt welke kant de elektromotor op draait.

3p **3** Leg uit of de stroom in de schakeling van B naar C door de motor loopt of andersom. Ga ervan uit dat de weerstand van de elektromotor M veel groter is dan de andere weerstanden in de schakeling.

Cessna

In figuur 1 staat een foto van een Cessna, een eenmotorig vliegtuig.

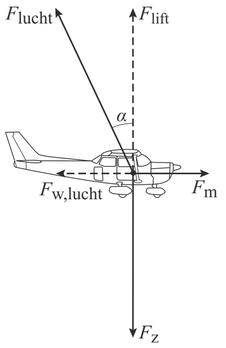
figuur 1

In tabel 1 staan gegevens van deze Cessna.

tabel 1

Cessna	
lengte	7,3 m
spanwijdte	10,7 m
hoogte	3,0 m
tankinhoud	75 L
kruissnelheid (constant)	198 km h^{-1} = 55,0 m s^{-1}
max. vliegbereik	678 km
max. motorvermogen	100 pk (hp)

figuur 2



Vliegen
Op een horizontaal rechtdoor vliegend vliegtuig werken drie krachten: de zwaartekracht F_z, de motorkracht F_m en de kracht die de lucht op het vliegtuig uitoefent: F_{lucht}. Deze F_{lucht} hangt af van de stand van de vleugels. F_{lucht} kan ontbonden worden in twee componenten. De component tegengesteld aan de vliegrichting is gelijk aan $F_{w,lucht}$.
De component loodrecht op de vliegrichting wordt liftkracht F_{lift} genoemd.
F_{lucht} maakt een hoek α met F_{lift}.
Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.

Deze Cessna vliegt met zijn kruissnelheid op een constante hoogte.
Het motorvermogen is dan 70% van het maximale motorvermogen. De beladen Cessna heeft op dat moment een massa van 710 kg.

5p **4** Bereken de grootte van hoek α in deze situatie.

De formule voor de liftkracht F_{lift} is:

$$F_{lift} = \frac{1}{2}\rho A_{vleugel} C_{lift} v^2$$

Hierin is:

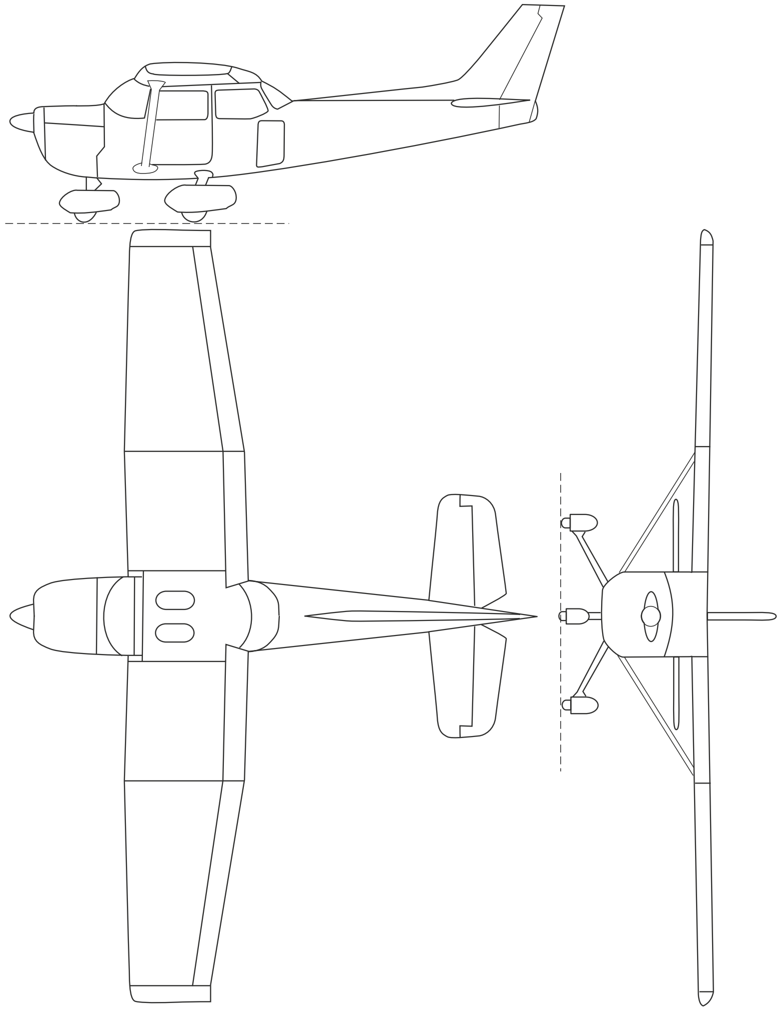
- ρ de dichtheid van lucht;
- $A_{vleugel}$ de vleugeloppervlakte: de onderoppervlakte van beide voorvleugels samen;
- C_{lift} de liftcoëfficiënt;
- v de snelheid ten opzichte van de lucht.

3p **5** Leid met behulp van deze formule de eenheid van C_{lift} af.

Op de uitwerkbijlage staan op schaal een zij-, boven- en vooraanzicht getekend van de Cessna.

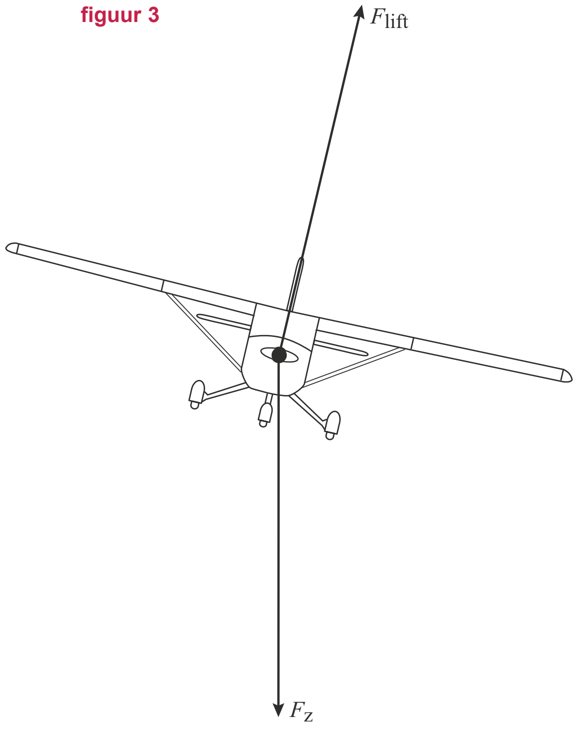
4p **6** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage en tabel 1 de grootte van C_{lift} voor de Cessna op kruissnelheid.

uitwerkbijlage bij vraag 6



Om een bocht te maken, laat de piloot het vliegtuig een beetje overhellen naar één kant. Hierbij verandert de grootte van de liftkracht niet. Zie figuur 3 voor een tekening in vooraanzicht.

figuur 3



Als de piloot daarbij verder niets aanpast, gebeuren er twee dingen met het vliegtuig:

- het maakt een bocht,
- het verliest hoogte.

3p **7** Leg met behulp van figuur 3 voor beide uit wat de natuurkundige oorzaak is.

Starten

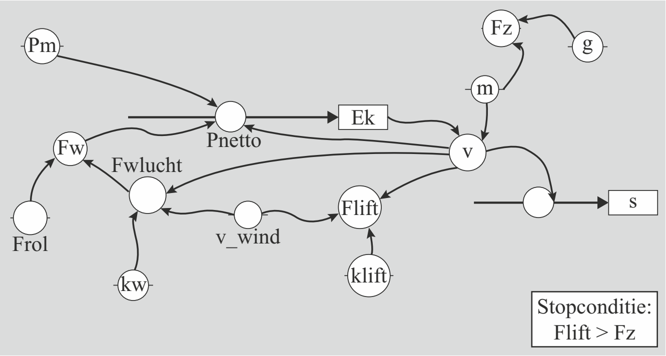
Om inzicht te krijgen in de beweging van de Cessna op de startbaan wordt een vereenvoudigd model gemaakt. Bij dat model gelden de volgende aannamen:

- gedurende de hele start is het motorvermogen constant,
- gedurende de hele start is de rolwrijving constant.

Het model is weergegeven in figuur 4.
De formules en de startwaarden van het grafisch model zijn gelijk aan die van het tekstmodel. Daarom worden die in het grafisch model niet weergegeven.

figuur 4

MODEL	STARTWAARDEN in SI-eenheden
Fz = m·g	Frol = 910
Flift = klift·(v – vwind)^2	klift = 5,68
Fw,lucht = kw·(v – vwind)^2	kw = 0,913
Fw = Fw,lucht + Frol	vwind = +5
Als Flift > Fz dan stop Eindals	m = 710
Pnetto = Pm – Fw·v	g = 9,81
Ek = ...	Pm= 74000
v = $\sqrt{2 \cdot Ek / m}$	Ek = 0
ds = v·dt	v = 0
s = s + ds	s = 0
t = t + dt	t = 0
	dt = 0,001



Verder is het model niet compleet. De modelregel voor Ek is niet ingevuld.

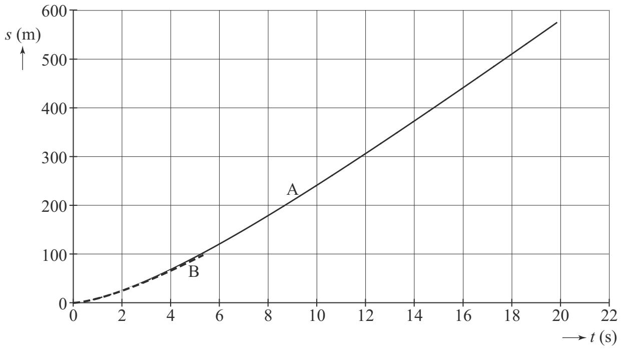
2p **8** Schrijf in figuur 4 de hele modelregel voor Ek.

In het model staat de factor ($v - v_{wind}$).

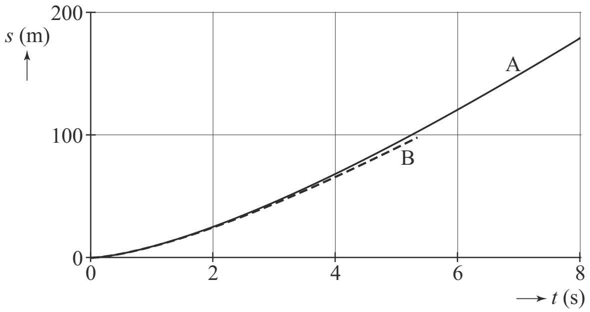
3p **9** Voer de volgende opdrachten uit over het model van figuur 4:
- Geef de reden dat gewerkt wordt met ($v - v_{wind}$) en niet met v.
- Leg uit of in het model sprake is van tegenwind of van meewind.

In figuur 5 staat het *(s,t)*-diagram van de startende Cessna op de startbaan in twee situaties: met windstil weer (A) en met een tegenwind van 10 m s^{-1} (B). In figuur 6 staat een gedeeltelijke vergroting van figuur 5.

figuur 5



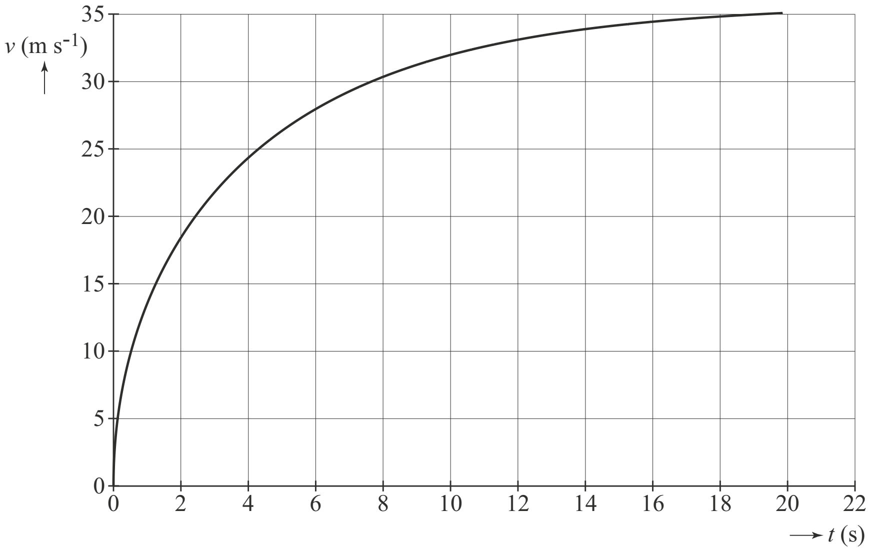
figuur 6



Op de uitwerkbijlage staat het (v,t)-diagram van de startende Cessna op de startbaan dat uit het model volgt, met daarin de grafiek voor situatie A.

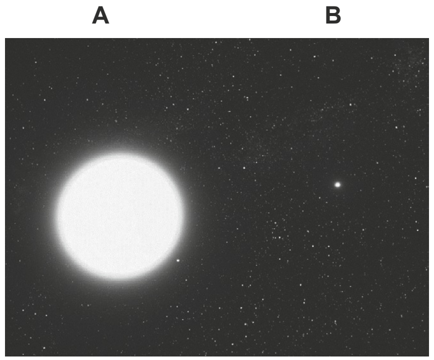
3p **10** Teken in het (v,t)-diagram op de uitwerkbijlage de grafiek voor situatie B.

uitwerkbijlage bij vraag 10



Sirius B als Quantumsysteem

Lees onderstaand artikel.



Uit de beweging van Sirius A, de helderste ster aan de hemel, voorspelde men al in 1844 dat Sirius een dubbelster is. De zwakker stralende begeleider, Sirius B, een witte dwerg, werd in 1862 ontdekt.
In 1914 ontdekte de astronoom Adams dat Sirius B ongeveer zo zwaar is als de zon en ongeveer zo groot is als de aarde.
Het was met de toenmalige stand van de wetenschap niet te begrijpen hoe zo'n object kon bestaan. Het duurde tot de komst van de quantumfysica voordat men begreep waarom zo'n supercompact object niet onder zijn eigen zwaartekracht in elkaar stort. Om dat te verklaren wordt Sirius B in de quantumfysica beschreven als één gigantisch atoom met 10^{57} elektronen!

Het continue emissiespectrum van Sirius B heeft de grootste intensiteit bij λ = 115 nm.

2p **11** Bereken de temperatuur van Sirius B.

Sirius B bestaat uit een plasma: een verzameling losse kernen en vrije elektronen. Hij bestaat vooral uit $^{12}_{6}C$ en $^{16}_{8}O$ met een mantel van $^{4}_{2}He$.

Voor het aantal elektronen in Sirius B geldt: $N_e = 6 \cdot 10^{56}$.

3p **12** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de reden dat het aantal elektronen N_e in Sirius B de helft is van het aantal kerndeeltjes.
- Laat hiermee en met de gegevens uit het artikel met een berekening zien dat de orde van grootte van N_e klopt.

Het volume van Sirius B is gelijk aan $8{,}1 \cdot 10^{20}$ m^3. De elektronen in Sirius B zitten dicht op elkaar. Om de gemiddelde onderlinge afstand d te schatten stellen we het volume dat één elektron inneemt gelijk aan d^3.
Dan geldt voor de gemiddelde onderlinge afstand: $d = 1 \cdot 10^{-12}$ m.

2p **13** Toon aan met een berekening dat dan geldt: $d = 1 \cdot 10^{-12}$ m.

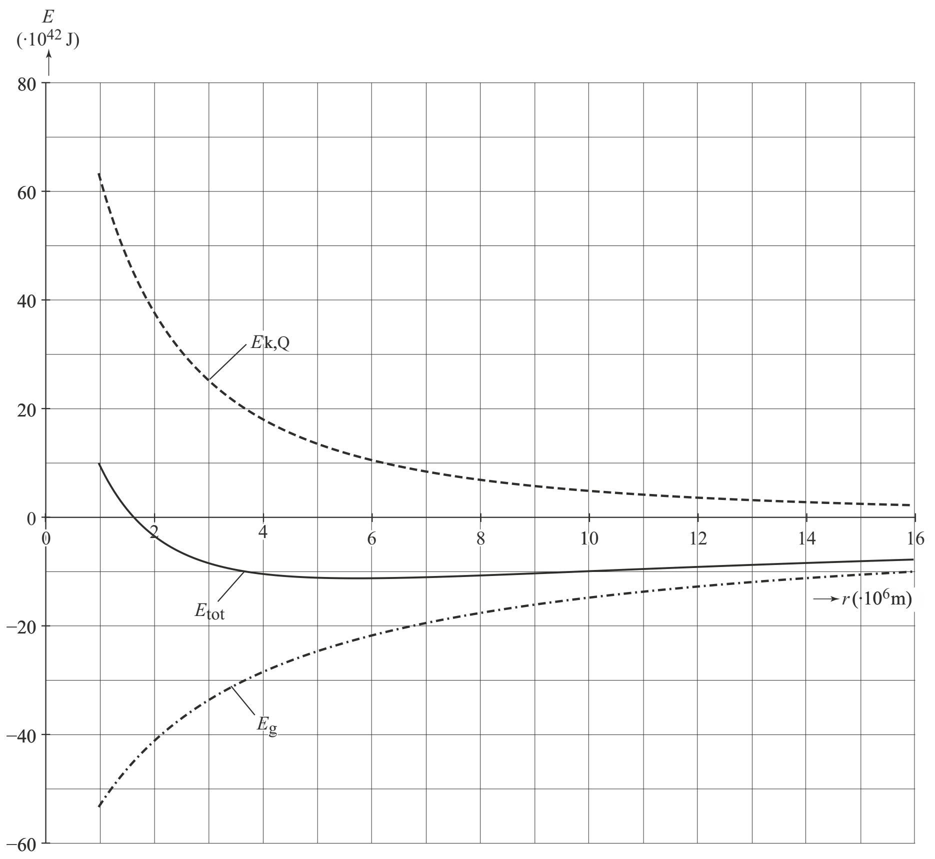
Omdat de elektronen in Sirius B zo dicht op elkaar zitten, is er een vereenvoudigd quantummodel opgesteld: alle elektronen van Sirius B bevinden zich in een één-dimensionale energieput met $L = 5{,}8 \cdot 10^6$ m.

In dit quantummodel wordt Sirius B dus beschouwd als één gigantisch atoom. Net als bij een gewoon atoom kunnen niet alle elektronen hetzelfde energieniveau bezetten: hoe meer elektronen er zijn, des te meer energieniveaus bezet zijn. Voor het quantumgetal n dat hoort bij het hoogst bezette energieniveau van Sirius B geldt: $n_{max} = 8{,}4 \cdot 10^{18}$.
De elektronen zijn in dit model te beschrijven als golven met een debroglie-golflengte waarvoor de formule geldt: $\lambda_B = \dfrac{2L}{n}$.

4p **14** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid deze formule af.
- Bereken de minimale debroglie-golflengte van elektronen in Sirius B.
- Leg daarmee uit dat Sirius B terecht beschouwd wordt als een quantumsysteem.

Met het quantummodel zijn model-energie-berekeningen gemaakt. De resultaten zijn weergegeven in figuur 1.

figuur 1



$E_{k,Q}$ de quantumfysische kinetische energie. Deze is gelijk aan de som van de elektron-energieën van alle gevulde energieniveaus.
E_g de gravitatie-energie.
E_{tot} de totale energie.

Er geldt:

$$E_{tot} = E_g + E_{k,Q}.$$

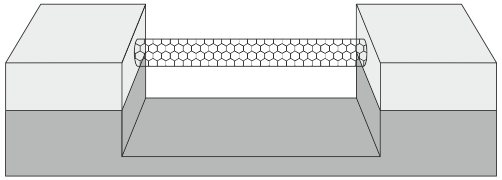
De grootte van Sirius B is met dit quantummodel te bepalen.

3p **15** Voer daartoe de volgende opdrachten uit:
- Geef de reden dat de totale quantumfysische kinetische energie $E_{k,Q}$ toeneemt als de straal van Sirius B kleiner wordt.
- Geef aan wat dit betekent voor een mogelijke ineenstorting van Sirius B.
- Bepaal met behulp van figuur 1 de straal van Sirius B die uit dit model volgt.

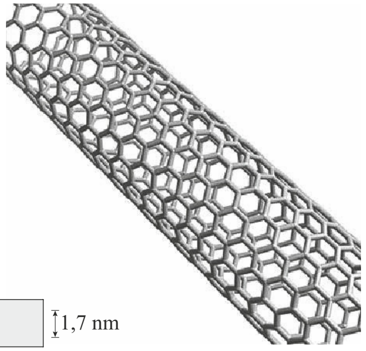
Protonenweegschaal?

Onderzoekers beweren dat ze een 'weegschaal' hebben ontwikkeld, die een enkel proton kan wegen. De weegschaal bestaat uit een nanobuisje dat aan twee zijden is vastgeklemd en trilt als een staande golf.
Zie figuur 1. Deze figuur is niet op schaal. Als een deeltje aan het buisje vasthecht, verandert de trillingstijd. Hieruit is de massa van dat deeltje te bepalen.
Het nanobuisje is opgebouwd uit koolstofatomen die in een honingraatstructuur zijn geordend. Zie figuur 2. De massa van het vastgeklemde nanobuisje bedraagt $6{,}2 \cdot 10^{-22}$ kg.

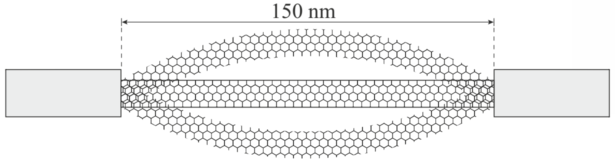
figuur 1



figuur 2



figuur 3



In figuur 3 staat de 'weegschaal' schematisch getekend met de bijbehorende afmetingen in de evenwichtsstand en de uiterste standen van de staande golf. Het buisje trilt met de grondfrequentie van 1,86 GHz.

3p **16** Bepaal de golfsnelheid in het nanobuisje.

Als één of meer deeltjes aan het nanobuisje vasthechten, verandert de resonantiefrequentie van het buisje. Voor de frequentieverandering stellen de onderzoekers de volgende formule op:

$$\Delta f = \frac{-\Delta m}{2m_{nano}} \cdot f_0$$

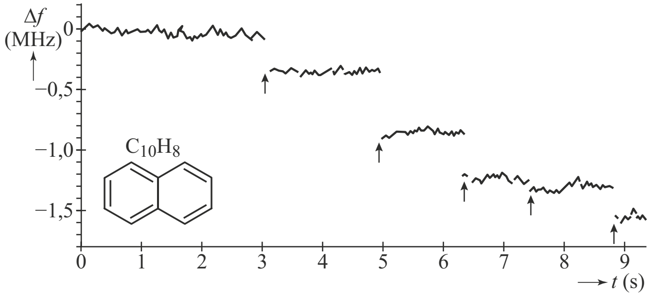
Hierin is:
- f_0 grondfrequentie van het nanobuisje vóór vasthechten (in Hz);
- Δf de frequentieverandering ten opzichte van f_0 (in Hz);
- Δm de massa van de aangehechte deeltjes (in kg);
- m_{nano} de massa van het nanobuisje (in kg).

Uit de formule is op te maken dat de resonantiefrequentie afneemt als er één of meer deeltjes aan het nanobuisje vasthechten.

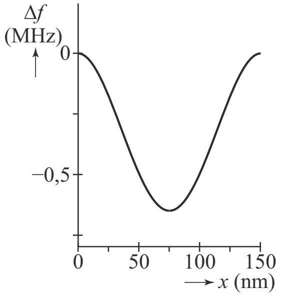
3p **17** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan hoe uit de gegeven formule volgt dat de resonantiefrequentie afneemt.
- Leg uit of de golfsnelheid groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft als een deeltje vasthecht aan het nanobuisje.

Om de weegschaal te 'ijken' laat men eerst één molecuul en daarna meer moleculen naftaleen ($C_{10}H_8$) aan het buisje vasthechten. De massa van een molecuul naftaleen bedraagt 128 u. Gedurende een meettijd van ongeveer 10 seconde bepalen de onderzoekers een aantal keer per seconde Δf. De resultaten gaven zij weer in figuur 4. Met vijf pijlen zijn vijf momenten aangegeven waarop een extra naftaleenmolecuul vasthecht.

figuur 4



figuur 5



Op tijdstip t = 8,8 s zijn er in totaal 5 naftaleenmoleculen vastgehecht.

4p **18** Laat zien of op dit tijdstip de gemeten Δf overeenkomt met de Δf die uit de formule volgt.

In figuur 4 is te zien dat niet alle stapjes in Δf even groot zijn.
In figuur 5 staat de frequentieverandering Δf uitgezet tegen de positie x van één naftaleenmolecuul op het nanobuisje.

2p **19** Leg met behulp van figuur 5 uit waarom de stapjes van Δf in figuur 4 niet even groot zijn.

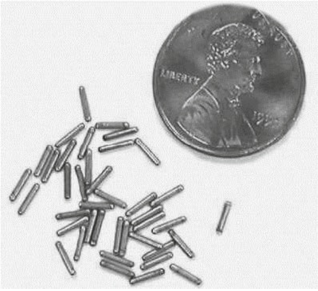
In figuur 4 is te zien dat de metingen van deze weegschaal 'ruis' hebben.
Ruis is een continue (kleine) variatie in de waarden door meetonnauwkeurigheden.
Zo is tot t = 3 s de waarde van Δf niet constant. Met deze 'weegschaal' willen de wetenschappers de massa bepalen van één enkel proton.

3p **20** Laat zien of de massa van één enkel proton met deze opstelling gemeten kan worden. Tip: bepaal hiertoe de nauwkeurigheid waarmee er gemeten moet worden om de massa van één enkel proton te kunnen bepalen.

Inwendige bestraling

Lees onderstaand artikel.

Radioactieve straling (ioniserende straling afkomstig uit een radioactieve stof) kan gebruikt worden om tumoren te bestrijden. De straling kan van buiten het lichaam komen, maar de stralende bron kan ook in het lichaam ingebracht worden.
Deze inwendige bestraling is zinvol bij een goed gelokaliseerde tumor.
Inwendige bestraling met behulp van in de tumor aangebrachte radioactieve jodium-125-bronnen is een effectieve behandeling voor de genezing van een tumor.
Het jodium-125 zit daarbij in kleine, 4,5 mm lange, holle titaniumnaaldjes die permanent in de tumor achterblijven.



Voor de productie van I-125 beschiet men Xe-124 met neutronen. De isotoop die daarbij ontstaat, vervalt tot I-125.

3p **21** Geef de beide reactievergelijkingen die leiden tot de vorming van I-125.

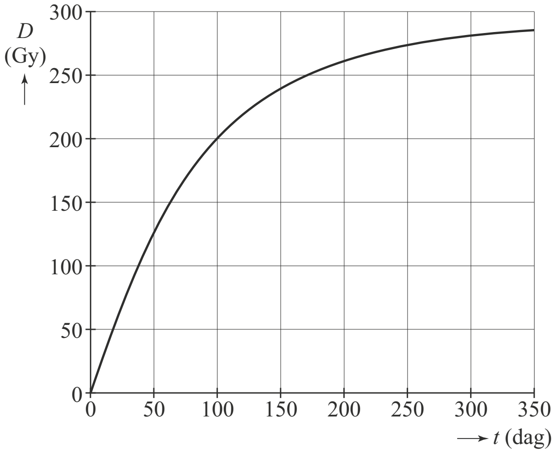
Bij het verval van I-125 worden γ-fotonen uitgezonden met een gemiddelde energie van 28 keV, die geabsorbeerd worden door de tumor. De naaldjes worden tijdens een operatie in de tumor geplaatst.
Ze worden 10 dagen vóór de operatie door een bedrijf in de Verenigde Staten geproduceerd. Op het moment van de operatie moet de activiteit van het I-125 in één naaldje 17 MBq zijn.

5p **22** Bereken de massa I-125 in kg die daartoe tijdens de productie in één naaldje moet worden aangebracht.

In figuur 1 staat de opgebouwde dosis in de tumor uitgezet tegen de tijd. Theo en Loes bespreken figuur 1.
Loes zegt dat de activiteit van de naaldjes na een jaar maximaal is, terwijl Theo stelt dat de naaldjes na een jaar juist hun activiteit hebben verloren.

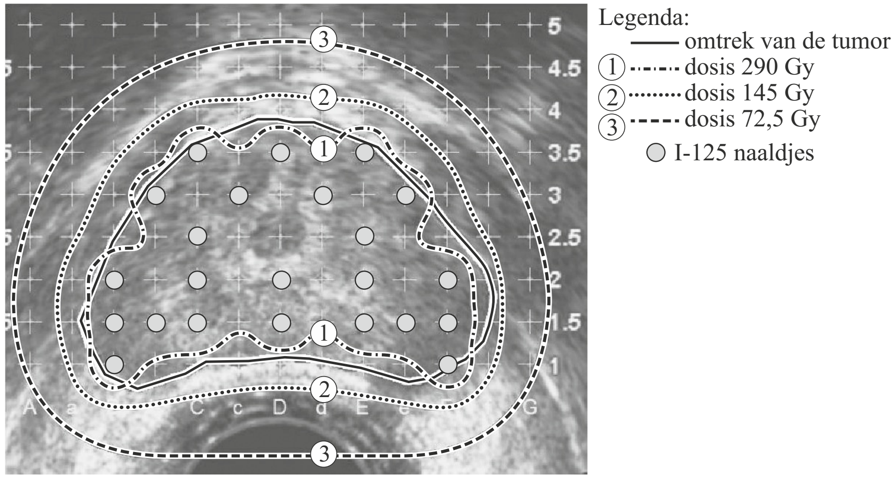
2p **23** Leg op grond van figuur 1 uit wie er gelijk heeft.

figuur 1



In figuur 2 wordt de tumor nader bekeken.

figuur 2



De getallen rechts in de figuur geven de afstand in centimeters aan.

Uit de figuur is af te lezen dat de tumor (zie de getrokken lijn) afmetingen heeft van ongeveer 5 cm bij 3 cm.

Er zijn 3 isodoselijnen weergegeven. Een isodoselijn is een lijn die door punten met gelijke stralingsdosis gaat.

In figuur 2 is te zien dat de isodoselijnen dicht bij de tumor grillig van vorm zijn en verder weg meer op een cirkel lijken.

1p **24** Geef hiervoor de verklaring.

Drie leerlingen doen een uitspraak.
- Erik zegt dat de stralingsintensiteit van binnen naar buiten afneemt zowel vanwege de kwadratenwet als door absorptie in het weefsel.
- Myrthe stelt dat de niet-geabsorbeerde fotonen geen schade aan de tumor toebrengen.
- Frank zegt dat de tumor nog steeds radioactief is ten gevolge van I-125, ook als dat helemaal vervallen is.

2p **25** Geef op de uitwerkbijlage met kruisjes voor elke leerling aan of die gelijk of ongelijk heeft.

uitwerkbijlage bij vraag 25

naam	uitspraak	gelijk	ongelijk
Erik	zegt dat de stralingsintensiteit van binnen naar buiten afneemt zowel vanwege de kwadratenwet als door absorptie in het weefsel.		
Myrthe	stelt dat de niet-geabsorbeerde fotonen geen schade aan de tumor toebrengen.		
Frank	zegt dat de tumor nog steeds radioactief is ten gevolge van I-125, ook als dat helemaal vervallen is.		

Hints bij examen 2017-I

1 Vergelijk de takken ABD en ACD met elkaar.
2 Wat gebeurt er met de stroomsterkte in een parallelschakeling?
3 Wat gebeurt er met de weerstand van LDR_2?
4 Het vliegtuig vliegt met een constante snelheid op een constante hoogte.
5 Druk C_{lift} uit in andere grootheden.
6 Gebruik het bovenaanzicht van het vliegtuig om de oppervlakte van de vleugels te schatten.
7 Ontbind F_{lift} in een horizontale en een verticale component.
8 Waar komt de toename van de kinetische energie vandaan?
9 Wat is de oorzaak van luchtwrijving?
10 Bedenk waarom lijn B eerder eindigt dan lijn A.
11 Wat is het verband tussen λ_{max} en T?
12 – Hoe bepaal je het aantal elektronen in een atoom?
– Hoeveel kerndeeltjes zitten er in Sirius B?
13 Hoeveel ruimte is er per elektron beschikbaar?
14 – Hoe zien de golffuncties in een één-dimensionale energieput eruit?
– Voor welke n is λ_B minimaal?
– Vergelijk λ_B met een gegeven afstand uit de opgave.
15 – Zie Binas 35E4.
– Neemt de totale energie toe of af als de straal kleiner wordt?
– Bij welke straal is de totale energie zo laag mogelijk?
16 Wat is de golflengte van de staande golf in het buisje?
17 Is Δf positief of negatief?
18 Bepaal eerst Δm.
19 Wat betekent de x-as van de grafiek?
20 Hoe groot is Δf voor één proton?
21 Wat zijn het atoomnummer en het massagetal van Xe-124?
22 Maak gebruik van de formules in Binas 35E3.
23 Wanneer neemt de opgebouwde dosis het snelst toe?
24 Bekijk hoe de isodoselijnen afhangen van de plaats van de naaldjes.
25 – In welke richtingen verplaatst de straling zich in het weefsel?
– Wat gebeurt er als gammastraling schade aanricht?
– Hoe ontstaat de gammastraling?

Uitwerkingen bij examen 2017-I

Zonvolgsysteem

2p **1** Zie figuur 4.
Als er op beide LDR's evenveel licht valt, is hun weerstand even groot. De takken ABD en ACD zijn dan identiek [1p], waardoor de spanning over LDR_1 gelijk is aan de spanning over LDR_2 $\Rightarrow$ $U_{AB} = U_{AC}$ $\Rightarrow$ $U_{BC} = 0$ [1p]
Als er geen spanning over de motor staat, zal er ook geen stroom door de motor lopen.

3p **2** We bepalen de verlichtingssterkte E op een LDR door deze af te lezen in de grafiek bij de juiste waarde van R_{LDR1}. Omdat de tak ABD een serieschakeling is, kunnen we R_{LDR1} berekenen met:
$R_{LDR1} = R_{ABD} - R_1$ [1p] (Binas 35D1), waarin:
R_{ABD} = totale weerstand in de tak ABD. Deze berekenen we met:
$U_{ABD} = I_{ABD} \cdot R_{ABD}$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $R_{ABD} = \dfrac{U_{ABD}}{I_{ABD}}$, waarin:
U_{ABD} = spanningsverschil tussen de punten A en D = 7,5 V
I_{ABD} = stroomsterkte in de tak ABD. Omdat de takken ABD en ACD identiek zijn, zal de hoofdstroom van 100 mA gelijk verdeeld worden over de twee takken. Daarom geldt: $I_{ABD} = \dfrac{100}{2} = 50 \text{ mA} = 50 \cdot 10^{-3}$ A
zodat: $R_{ABD} = \dfrac{7{,}5}{50 \cdot 10^{-3}} = 150\ \Omega$
$R_1 = 50\ \Omega$
Invullen: $R_{LDR1} = 150 - 50 = 100\ \Omega$
In figuur 5 is af te lezen dat deze weerstand hoort bij een verlichtingssterkte van $39 \cdot 10^3$ lux. [1p]

3p **3** In figuur 5 is te zien dat een afname van de verlichtingssterkte op LDR_2 een toename van de weerstand over LDR_2 tot gevolg heeft. [1p]
Doordat de weerstand van LDR_2 toeneemt ten opzichte van de weerstand R_2, zal er ook een groter deel van de spanning over LDR_2 komen te staan: $U_{CD} > U_{BD}$.
De spanningswet van Kirchhoff luidt voor de kring BDCB:
$U_{BD} + U_{DC} + U_{CB} = 0$ [1p] (Binas 35D1).
Omdat $U_{CD} > U_{BD}$ geldt ook dat $-U_{DC} > U_{BD}$, waardoor $U_{BD} + U_{DC} < 0$, en $U_{CB} > 0$.
De stroom zal dus van C naar B lopen. [1p]
Om deze methode te kunnen gebruiken, is het van belang dat de weerstand van motor M veel groter is dan de andere weerstanden in de stroomkring. Als dit niet zo zou zijn, dan zou de stroomsterkte in de takken ABD en ACD niet meer constant zijn, en zou de spanningsdeling die hier wordt toegepast niet meer juist zijn.

Cessna

5p **4** We berekenen de hoek α met $\tan \alpha = \dfrac{F_{w,lucht}}{F_{lift}}$ [1p] $\Rightarrow$ $\alpha = \tan^{-1}\left(\dfrac{F_{w,lucht}}{F_{lift}}\right)$, met:
$F_{w,lucht}$ = wrijvingskracht van de lucht, tegengesteld aan de vliegrichting. Het vliegtuig vliegt met een constante snelheid, zodat: $F_{w,lucht} = F_m$, waarin:
F_m = motorkracht (zie figuur 2).
Er geldt: $0{,}70 \cdot P_m = F_m \cdot v$ [1p] (Binas 35A4) $\Rightarrow$ $F_m = \dfrac{0{,}70 \cdot P_m}{v}$, met:
P_m = maximaal motorvermogen = 100 pk (hp) = $100 \cdot 7{,}46 \cdot 10^2$ W (Binas 5) = $7{,}46 \cdot 10^4$ W [1p]
v = kruissnelheid = 55,0 m s^{-1} (tabel 1)
zodat: $F_{w,lucht} = F_m = \dfrac{0{,}70 \cdot 7{,}46 \cdot 10^4}{55{,}0} = 949$ N

F_{lift} = liftkracht. Omdat het vliegtuig op een constante hoogte vliegt, geldt:
$F_{lift} = F_z = m \cdot g$ [1p] (Binas 35A3), met:
F_z = zwaartekracht op het vliegtuig
m = massa van het vliegtuig = 710 kg
g = versnelling van de zwaartekracht = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
zodat: $F_{lift} = 710 \cdot 9{,}81 = 6{,}97 \cdot 10^3$ N

Invullen: $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{949}{6{,}97 \cdot 10^3}\right) = 7{,}8°$ [1p]

3p **5** $F_{lift} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{vleugel} \cdot C_{lift} \cdot v^2 \Rightarrow C_{lift} = \frac{F_{lift}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{vleugel} \cdot v^2}$

Eenheden invullen:

$[C_{lift}] = \left[\frac{F_{lift}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{vleugel} \cdot v^2}\right] = \frac{N}{kg \cdot m^{-3} \cdot m^2 \cdot (m \cdot s^{-1})^2}$ [1p] $=$

$= \frac{N}{kg \cdot m^{-3} \cdot m^2 \cdot m^2 \cdot s^{-2}} = \frac{N}{kg \cdot m \cdot s^{-2}}$

Omdat N = kg · m · s^{-2} [1p] (Binas 4) kan dit verder vereenvoudigd worden:

$[C_{lift}] = \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{kg \cdot m \cdot s^{-2}} = 1$,

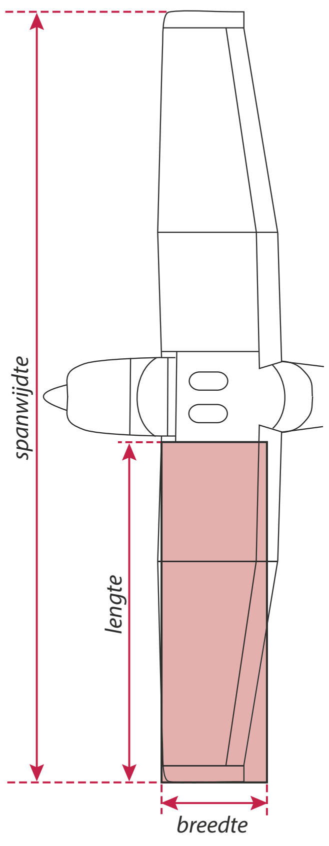
zodat: C_{lift} is dimensieloos / heeft geen eenheid. [1p]

4p **6** We berekenen C_{lift} met
$F_{lift} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{vleugel} \cdot C_{lift} \cdot v^2$ [1p] $\Rightarrow$

$\Rightarrow C_{lift} = \frac{F_{lift}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{vleugel} \cdot v^2}$, waarin:

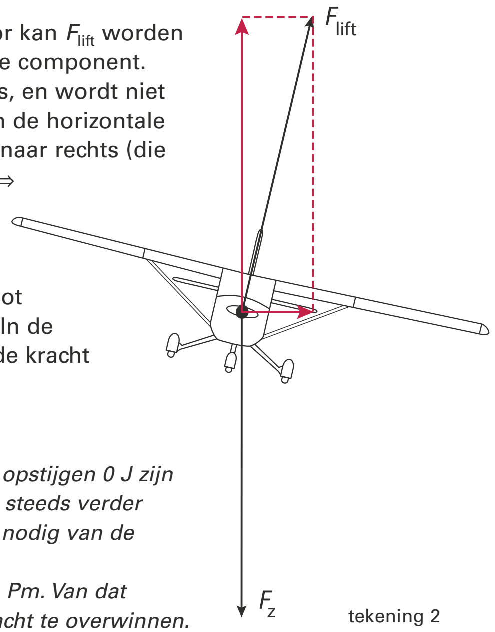
F_{lift} = liftkracht = $6{,}97 \cdot 10^3$ N (zie antwoord 4)
ρ = dichtheid van lucht = 1,293 kg m^{-3} (Binas 12)
$A_{vleugel}$ = oppervlakte van de vleugels van het vliegtuig. Dit kunnen we schatten met behulp van het bovenaanzicht op de uitwerkbijlage. Hiervoor bepalen we eerst de schaal van de figuur op de uitwerkbijlage (zie tekening 1). De *spanwijdte* van het vliegtuig is 10,7 m. Dat komt overeen met 10,2 cm in tekening 1.
De schaal is dus $\frac{10{,}7}{10{,}2} = 1{,}05$ m cm^{-1}
De oppervlakte van een vleugel kan worden geschat door een rechthoek te tekenen die ongeveer even groot is als de vleugel (zie tekening 1). Opmeten geeft een oppervlakte van *lengte* x *breedte* = 4,5 x 1,4 = 6,30 cm^2
Omdat er twee vleugels zijn, is de totale oppervlakte 12,60 cm^2 [1p]
In zowel de x- als de y-richting moet deze waarde met de schaalfactor vermenigvuldigd worden, zodat de oppervlakte van de vleugels geschat kan worden op $12{,}60 \cdot 1{,}05^2 = 13{,}9$ m^2 [1p]
v = kruissnelheid = 55,0 m s^{-1} (tabel 1)

Invullen: $C_{lift} = \frac{6{,}97 \cdot 10^3}{\frac{1}{2} \cdot 1{,}293 \cdot 13{,}9 \cdot 55{,}0^2} = 0{,}26$ [1p]



tekening 1

3p **7** Zie tekening 2.
F_{lift} is nu schuin omhoog gericht. [1p] Daardoor kan F_{lift} worden ontbonden in een horizontale en een verticale component.
– De horizontale component wijst naar rechts, en wordt niet tegengewerkt door een kracht naar links. In de horizontale richting werkt dus een resulterende kracht naar rechts (die optreedt als middelpuntzoekende kracht) $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ het vliegtuig gaat een bocht (cirkelbeweging) maken. [1p]
– De verticale component werkt de zwaartekracht tegen, maar is niet meer groot genoeg om de zwaartekracht op te heffen. In de verticale richting werkt dus een resulterende kracht omlaag $\Rightarrow$ het vliegtuig daalt. [1p]



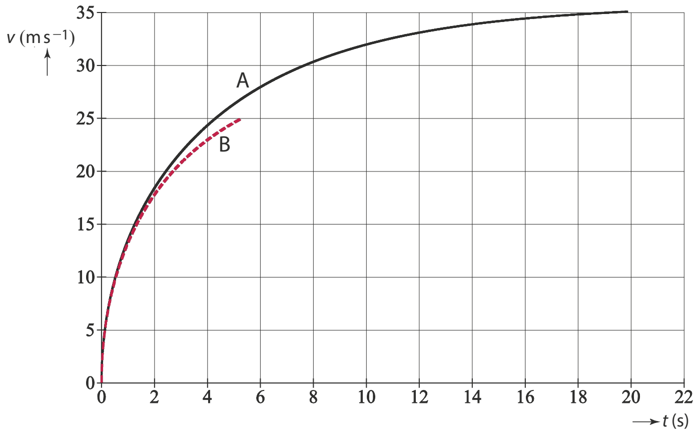
tekening 2

2p **8** Ek = Ek + Pnetto · dt
De kinetische energie zal aan het begin van het opstijgen 0 J zijn (want het vliegtuig staat dan stil), en zal daarna steeds verder toenemen. We hebben daarom een modelregel nodig van de vorm Ek = Ek + … [1p]
De motor van het vliegtuig heeft een vermogen Pm. Van dat vermogen is een deel nodig om de wrijvingskracht te overwinnen. De rest (Pnetto) wordt omgezet in kinetische energie. De kinetische energie die er in een tijdstap bijkomt, kan worden bepaald door gebruik te maken van

$P = \frac{E}{t}$ *(Binas 35A4)* $\Rightarrow$ *Ek = Pnetto · dt* [1p]

3p **9** – De luchtwrijving wordt veroorzaakt door botsingen tussen het vliegtuig en de luchtmoleculen. Het aantal botsingen hangt af van de onderlinge snelheid van die twee (als de lucht even snel en in dezelfde richting stroomt als het vliegtuig rijdt, is er geen luchtwrijving). Daarom is het nodig om het verschil in snelheid (v – vwind) te gebruiken om de luchtwrijving te berekenen. [1p]
– In het model geldt vwind = +5. Dat betekent dat de luchtwrijving kleiner wordt dan wanneer er geen wind zou zijn (v – vwind < v). [1p] Dat betekent dat er sprake is van meewind. [1p]

3p **10** Zie tekening 3.



tekening 3

In het model is te zien dat het vliegtuig opstijgt als de liftkracht de zwaartekracht opheft. In de figuur op de uitwerkbijlage is te zien dat het vliegtuig bij windstil weer opstijgt bij een snelheid van 35 m s^{-1}. Als er een tegenwind van 10 m s^{-1} is, stijgt het vliegtuig op als
$(v - vwind) = (v - (-10)) = 35$ m s^{-1} $\Rightarrow$ $v = 25$ m s^{-1}
In figuur 6 is te zien dat het vliegtuig bij tegenwind na 5,4 s opstijgt (omdat de lijn daar eindigt). Dat is dus het moment dat het vliegtuig een snelheid van 25 m s^{-1} bereikt.
Nu kunnen we de grafiek tekenen:

- *de lijn volgt dezelfde vorm als in de windstille situatie;* [1p]
- *na 5,4 s bereikt het vliegtuig een snelheid van 25 m s^{-1};* [1p]
- *op dat tijdstip eindigt de lijn* [1p] *(en stijgt het vliegtuig op).*

Sirius B als Quantumsysteem

2p **11** De temperatuur T van Sirius B wordt berekend met:

$\lambda_{max} \cdot T = k_w$ [1p] $\Rightarrow$ $T = \dfrac{k_w}{\lambda_{max}}$ (Binas 35E1), waarin:

λ_{max} = golflengte behorende bij de grootste intensiteit in het emissiespectrum van Sirius B = 115 nm = $115 \cdot 10^{-9}$ m
k_w = constante van Wien (Binas 7A) = $2{,}898 \cdot 10^{-3}$ m K

Invullen: $T = \dfrac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{115 \cdot 10^{-9}} = 2{,}52 \cdot 10^{4}$ K [1p]

3p **12** – C-12 en O-16 bestaan allebei uit evenveel protonen als neutronen. Voor elk proton is er in het neutrale atoom een elektron aanwezig. [1p] Er zijn dus half zoveel elektronen als kerndeeltjes.
– Bij een aantal van $6 \cdot 10^{56}$ elektronen zijn er $12 \cdot 10^{56}$ kerndeeltjes. Een kerndeeltje heeft een massa van ongeveer 1 u (Binas 7B).
1 u = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B) $\Rightarrow$ $12 \cdot 10^{56}$ u = $1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg. [1p] De zon heeft een massa van $1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg [1p] (Binas 32C). Dit komt dus overeen.

2p **13** Het volume van Sirius B is $8{,}1 \cdot 10^{20}$ m^3. Daarin zitten $6 \cdot 10^{56}$ elektronen.
Dan is er voor elk elektron $\dfrac{8{,}1 \cdot 10^{20}}{6 \cdot 10^{56}} = 1{,}35 \cdot 10^{-36}$ m^3 beschikbaar. [1p] Als deze ruimte een kubusje is, dan is de ribbe van die kubus $\sqrt[3]{1{,}35 \cdot 10^{-36}} = 1{,}1 \cdot 10^{-12}$ m.
Dat komt overeen met de gegeven d. [1p]

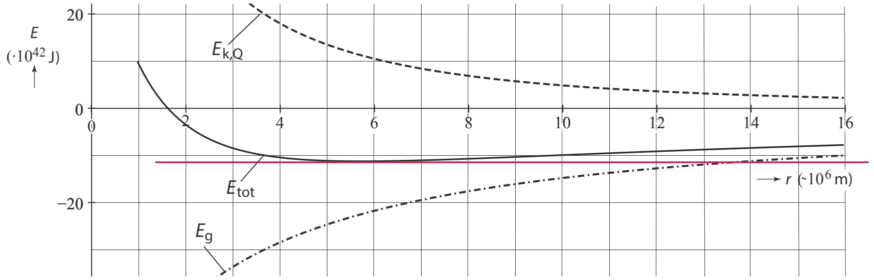
4p **14** – In de lengte L van een één-dimensionale energieput past een heel aantal halve golflengtes: $L = n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ [1p] (Binas 35B2) $\Rightarrow$ $\lambda = \dfrac{2 \cdot L}{n}$
– We berekenen de minimale golflengte λ_{min} met $\lambda_{min} = \dfrac{2 \cdot L}{n}$ [1p], waarin:

L = lengte van de energieput = $5{,}8 \cdot 10^{6}$ m
n = quantumgetal dat leidt tot de kleinste debroglie-golflengte. Omdat n in de noemer van de formule staat, kiezen we de grootste waarde voor n:
$n = n_{max} = 8{,}4 \cdot 10^{18}$

Invullen: $\lambda_{min} = \dfrac{2 \cdot 5{,}8 \cdot 10^{6}}{8{,}4 \cdot 10^{18}} = 1{,}4 \cdot 10^{-12}$ m [1p]

– De golflengte $1{,}4 \cdot 10^{-12}$ m is groter dan de onderlinge afstand tussen de elektronen (zie antwoord 13). Omdat de golffuncties elkaar overlappen, kan Sirius B beschouwd worden als een quantumsysteem. [1p]

3p **15** – Voor de quantumfysische kinetische energie van één elektron geldt:
$E_n = \dfrac{n^2 h^2}{8 m L^2}$ (Binas 35E4)
Als de straal r van de ster afneemt, wordt L kleiner en wordt E_n dus groter. Daardoor neemt de som van de elektron-energieën $E_{k,Q}$ toe. [1p]
– In de grafiek van figuur 1 is te zien dat E_{tot} toeneemt als r kleiner wordt, doordat $E_{k,Q}$ sneller toeneemt dan E_g afneemt. Het zou dus energie kosten om de ster in te laten storten. Dat gebeurt nooit spontaan, dus zal Sirius B niet instorten. [1p]
– De ster is het meest stabiel als de totale energie minimaal is. Om de straal te vinden waarbij dat zo is, tekenen we een horizontale raaklijn aan de grafiek van E_{tot} in figuur 1 (zie de tekening). Aflezen geeft een straal van $6 \cdot 10^{6}$ m. [1p]



Protonenweegschaal?

3p **16** We berekenen de golfsnelheid v met: $v = f \cdot \lambda$ [1p] (Binas 35B2), waarin:
f = grondfrequentie van het buisje = 1,86 GHz = $1{,}86 \cdot 10^{9}$ Hz
λ = golflengte van de staande golf. Omdat het buisje zich gedraagt als een snaar met twee vaste uiteinden, geldt hiervoor:

$\ell = n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ [1p] (Binas 35B2) $\Rightarrow$ $\lambda = \dfrac{2 \cdot \ell}{n}$, met:
n = 1 voor de grondtoon
ℓ = lengte van het buisje = 150 nm = $150 \cdot 10^{-9}$ m
zodat: $\lambda = \dfrac{2 \cdot 150 \cdot 10^{-9}}{1} = 3{,}00 \cdot 10^{-7}$ m

Invullen: $v = 1{,}86 \cdot 10^{9} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{-7} = 558$ m s^{-1} [1p]

3p **17** – Als er een deeltje aan het buisje vasthecht, is er een positieve Δm. Aan het minteken in de formule is te zien dat Δf dan negatief wordt.
De resonantiefrequentie neemt daarom af. [1p]
– $v = f \cdot \lambda$ (Binas 35B2). Als f afneemt (en λ gelijk blijft [1p]), dan wordt v kleiner. De golfsnelheid wordt dus kleiner als er een deeltje vasthecht aan het buisje. [1p]

4p **18** We berekenen Δf met: $\Delta f = \dfrac{-\Delta m}{2 \cdot m_{nano}} \cdot f_0$ [1p], waarin:

Δm = massa van vijf naftaleenmoleculen = 5 · 128 u = 640 u = $640 \cdot 1{,}661 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B) = $1{,}06 \cdot 10^{-24}$ kg [1p]
m_{nano} = massa van het nanobuisje = $6{,}2 \cdot 10^{-22}$ kg
f_0 = grondfrequentie van het nanobuisje vóór het vasthechten = 1,86 GHz = $1{,}86 \cdot 10^{9}$ Hz

Invullen: $\Delta f = \dfrac{-1{,}06 \cdot 10^{-24}}{2 \cdot 6{,}2 \cdot 10^{-22}} \cdot 1{,}86 \cdot 10^{9} = -1{,}6 \cdot 10^{6}$ Hz [1p]
Dat komt overeen met de waarde van –1,6 MHz die je bij 8,8 s uit de grafiek kunt aflezen. [1p]

2p **19** In figuur 5 is te zien dat Δf afhangt van de plaats waar het naftaleenmolecuul aanhecht. [1p] Een molecuul dat in het midden aanhecht, heeft een grotere invloed op de resonantiefrequentie dan een molecuul dat aan een van de zijkanten aanhecht. Omdat niet te controleren is waar een molecuul precies aanhecht, zal de invloed per molecuul verschillen. [1p]

3p **20** Eén proton heeft een massa van $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B). Als we dit invullen voor Δm [1p], vinden we een frequentieverandering van:

$\Delta f = -\dfrac{1{,}67 \cdot 10^{-27}}{2 \cdot 6{,}2 \cdot 10^{-22}} \cdot 1{,}86 \cdot 10^9 = 2{,}5 \cdot 10^3$ Hz. [1p] Dat is gelijk aan $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ MHz.

De ruis in de grafiek is van de orde van grootte van één schaaldeel, dus 0,1 MHz. Dat is veel groter dan de frequentieverandering die door één proton wordt veroorzaakt. De nauwkeurigheid is dus niet groot genoeg om de massa van één proton te meten. [1p]

Inwendige bestraling

3p **21** $^{124}_{54}\text{Xe} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{125}_{54}\text{Xe}$

$^{125}_{54}\text{Xe} \rightarrow ^{125}_{53}\text{I} + ^{0}_{1}\beta^+$

Eerste reactie:
- *Een neutron heeft massagetal 1 en lading 0, en wordt dus weergegeven als ^1_0n*
- *Het atoomnummer van Xe-124 is 54 (Binas 25A, 40A of 99)*
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn, dus het atoomnummer van het reactieproduct is 54 + 0 = 54. Dit element is dus ook xenon.*
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn, dus het massagetal van het reactieproduct is 124 + 1 = 125*

Tweede reactie:
- *I-125 heeft atoomnummer 53 en massagetal 125 (Binas 25A, 40A of 99)*
- *Xe-125 heeft atoomnummer 54 en massagetal 125 (zie eerste reactie)*
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn, dus het atoomnummer van het gevormde deeltje is 54 – 53 = 1*
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn, dus het massagetal van het gevormde deeltje is 125 – 125 = 0*
- *Een deeltje met atoomnummer 1 en massagetal 0 is een positron. Dit wordt weergegeven als $^0_1\beta^+$ of $^0_1e^+$*

1e reactie: neutron links, Xe-125 rechts [1p]
2e reactie: I-125 als eindproduct [1p]
kloppende reactievergelijkingen [1p]

5p **22** We berekenen de massa m met: $m = N_0 \cdot m_I$ [1p], waarin:
N_0 = aantal kernen I-125 in één naaldje tijdens de productie. Hiervoor geldt:

$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$ [1p] (Binas 35E3) $\Rightarrow N_0 = \dfrac{N}{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}}$, met:

N = aantal kernen dat in een naaldje aanwezig is tijdens de operatie.

Hiervoor geldt: $A = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$ [1p] (Binas 35E3) $\Rightarrow N = \dfrac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2}$, met:

A = activiteit van een naaldje tijdens de operatie = 17 MBq = $17 \cdot 10^6$ Bq

$t_{1/2}$ = halveringstijd van I-125 = 59 d (Binas 25A) = $59 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ s = $5{,}10 \cdot 10^6$ s [1p]

zodat: $N = \dfrac{17 \cdot 10^6 \cdot 5{,}10 \cdot 10^6}{0{,}693} = 1{,}25 \cdot 10^{14}$

t = tijd tussen de productie van het naaldje en de operatie = 10 d

$t_{1/2}$ = halveringstijd van I-125 = 59 d (Binas 25A)

zodat: $N_0 = \dfrac{1{,}25 \cdot 10^{14}}{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{59}}} = 1{,}41 \cdot 10^{14}$

m_I = massa van een kern I-125 = 125 u (Binas 25A) = $125 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B) = $2{,}08 \cdot 10^{-25}$ kg
Invullen: $m = 1{,}41 \cdot 10^{14} \cdot 2{,}08 \cdot 10^{-25} = 2{,}9 \cdot 10^{-11}$ kg [1p]

2p **23** In de grafiek is te zien dat de opgebouwde dosis steeds langzamer toeneemt. Dat betekent dat er steeds minder kernen per seconde vervallen ⇒ de activiteit neemt af ⇒ Loes heeft ongelijk. [1p]
Na 350 dagen is de grafiek nagenoeg horizontaal geworden. Dat betekent dat er bijna geen kernen meer vervallen ⇒ Theo heeft gelijk. [1p]

1p **24** In de buurt van de naaldjes zijn de isodoselijnen grillig: het maakt daar veel verschil of je de dosis vlakbij een naaldje of tussen twee naaldjes in meet.
Verder van de naaldjes af wordt de dosis door alle naaldjes samen bepaald, en is de exacte locatie waar je meet dus minder belangrijk voor de hoogte van de dosis.

2p **25** Zie de ingevulde uitwerkbijlage. [3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]

naam	uitspraak	gelijk	ongelijk
Erik	zegt dat de stralingsintensiteit van binnen naar buiten afneemt zowel vanwege de kwadratenwet als door absorptie in het weefsel.	X	
Myrthe	stelt dat de niet-geabsorbeerde fotonen geen schade aan de tumor toebrengen.	X	
Frank	zegt dat de tumor nog steeds radioactief is ten gevolge van I-125, ook als dat helemaal vervallen is.		X

- *Erik heeft gelijk: de kwadratenwet zorgt ervoor dat de uitgezonden straling over een steeds grotere hoeveelheid weefsel moet worden verdeeld, en absorptie zorgt ervoor dat er naar buiten toe steeds minder straling over is.*
- *Myrthe heeft gelijk: niet-geabsorbeerde fotonen zullen het weefsel verlaten, en hebben onderweg geen interactie met het weefsel.*
- *Frank heeft ongelijk: als alle I-125 is vervallen, is er geen radioactief jodium meer aanwezig, en kan dat dus ook geen straling meer uitzenden.*

Examen 2017-II

Rookmelder

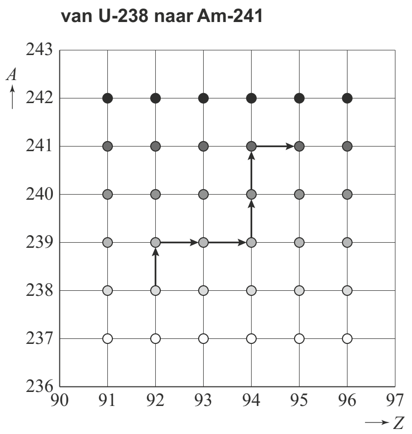
Een rookmelder is een apparaat dat rook kan detecteren. Zie figuur 1. Zodra er rook in het apparaat komt, gaat een alarmsignaal af.

figuur 1

Er bestaan rookmelders die americium-241 bevatten. In figuur 2 is het kernreactieproces van het ontstaan van americium-241 schematisch weergegeven in zes stappen.

3p **1** Geef de kernreactievergelijkingen van de **eerste** en de **zesde** stap in het ontstaansproces van americium-241.

figuur 2

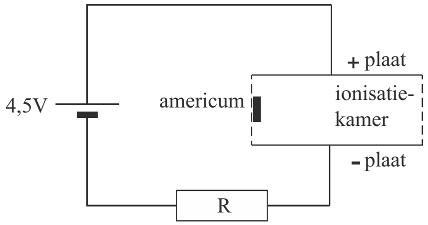


Bij de fabricage van de rookmelder is de activiteit van het gebruikte americium-241 gelijk aan 37 kBq.

4p **2** Bereken de massa van het americium-241 dat de rookmelder bij fabricage bevat.

Bij het verval van americium-241 komen α-deeltjes vrij. In de rookmelder zit het americium in een ionisatiekamer, waar de vrijgekomen α-deeltjes de omringende lucht ioniseren.
Zie figuur 3. Bij een botsing met de lucht in de ionisatiekamer stoot het α-deeltje steeds één elektron weg van een molecuul. Daar is gemiddeld 34 eV voor nodig. De geladen deeltjes die dan ontstaan gaan naar één van de platen van de ionisatiekamer en zo ontstaat er een stroom.

figuur 3

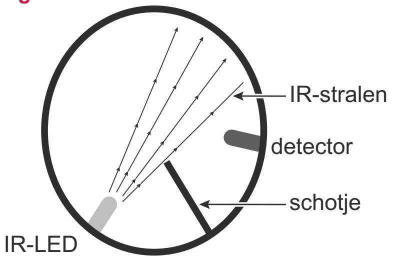


Neem aan dat de α-deeltjes alleen door ionisaties al hun energie verliezen en dat alle geladen deeltjes in de ionisatiekamer de platen bereiken.
Neem bovendien aan dat elk α-deeltje dat uit het americium komt moleculen uit de lucht ioniseert.

3p **3** Bereken de stroomsterkte die ontstaat bij een pas gefabriceerde rookmelder.

Er bestaan ook optische rookmelders. Daarin zendt een LED infrarode straling uit.
Zie figuur 4.

figuur 4



Als er geen rook in de rookmelder is, komt er geen IR-straling op de detector. Als er wel rook in de rookmelder is, wordt de IR-straling verstrooid en komt er IR-straling op de detector.

Marieke en Hugo discussiëren over het ontwerp van deze rookmelder.
Marieke zegt dat de detector net zo goed tegenover de IR-LED in de bundel geplaatst kan worden. Het alarm gaat dan af als er rookdeeltjes in de rookmelder komen en de detector minder IR-straling detecteert.
Hugo zegt dat de detector in figuur 4 op de beste plaats staat omdat het verschil tussen geen en een klein beetje IR-straling nauwkeuriger te meten is dan tussen veel IR-straling en iets minder IR-straling. Volgens Hugo is de rookmelder dan gevoeliger.

In figuur 5 I tot en met IV staan vier figuren met een detectorsignaal.

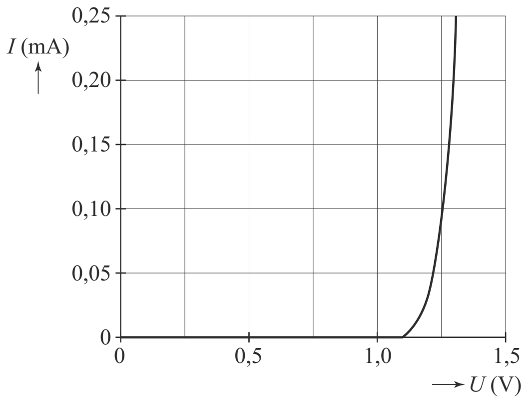
figuur 5

4p **4** Leg uit:
- welke figuur het best past bij de uitleg van Marieke en welke figuur het best past bij de uitleg van Hugo;
- wie van de twee gelijk heeft: Marieke of Hugo.

De IR-LED is in serie met een weerstand aangesloten op een spanning van 1,5 V.
De stroomsterkte door de IR-LED is 0,20 mA.
In figuur 6 staat de stroomsterkte als functie van de spanning over de IR-LED weergegeven.

3p **5** Bereken de waarde van de weerstand die in serie met de IR-LED staat.

figuur 6

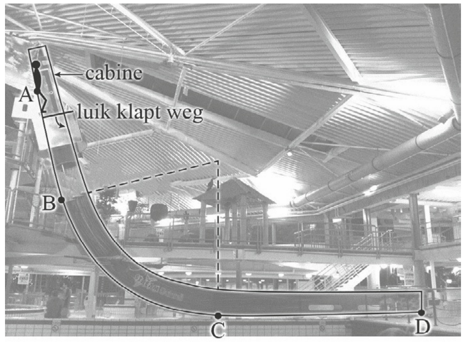


X-stream

In het Tikibad in Wassenaar staat de attractie X-stream. Zie figuur 1. In figuur 2 zijn de voornaamste onderdelen aangegeven.
Op de uitwerkbijlage staat een grotere tekening op schaal van een zijaanzicht van de X-stream.

figuur 1

figuur 2

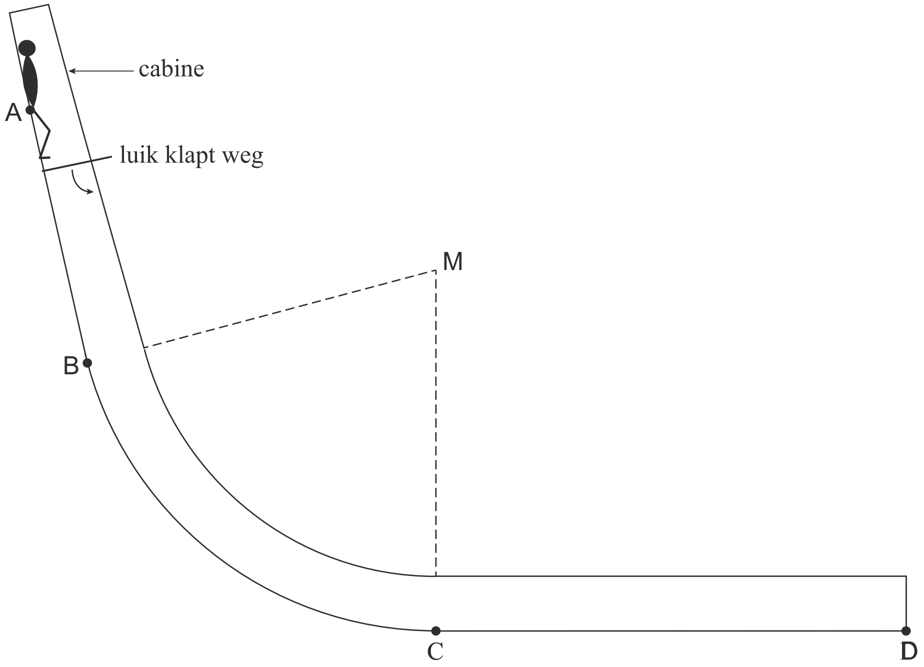


De X-stream werkt als volgt. Een persoon staat in een cabine op een luik. Het luik klapt weg en de persoon valt naar beneden door een buis die via een bocht in een horizontaal stuk eindigt. De positie van de persoon in de cabine is aangegeven met de letter A. Het begin van het gebogen stuk is aangegeven met de letter B. Bij punt C begint het horizontale stuk.
Zie de figuur op de uitwerkbijlage. In de opgave verwaarlozen we de luchtwrijving.

Tijdens de beweging in de buis komt de persoon niet los van de buis.

4p **6** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan waarom er in buisdeel AB geen sprake is van een vrije val.
- Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de versnelling die de persoon zal krijgen in buisdeel AB als de wrijvingskrachten worden verwaarloosd.

uitwerkbijlage bij vraag 6



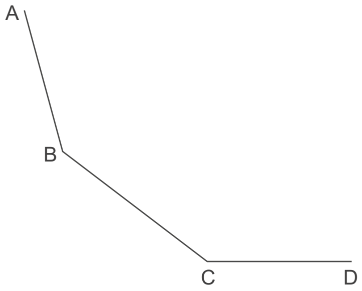
Bij het ontwerp van de attractie is aan een aantal eisen voldaan. Twee ervan zijn:
- De snelheid van de persoon bij punt C is maximaal 11 m s^{-1}.
- Door de wrijvingskracht ontstaat warmte. Het remmend vermogen van de wrijvingskracht bij punt C mag maximaal $1{,}5 \cdot 10^3$ W zijn.

2p **7** Bereken de maximale grootte van de wrijvingskracht bij punt C bij een snelheid van 11 m s^{-1}.

De wrijvingskracht die de persoon ondervindt, kan verminderd worden door meer water van bovenaf in de buis te laten stromen.

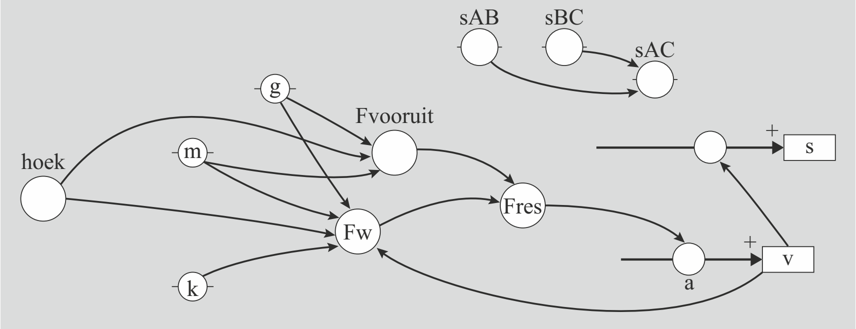
De snelheid waarmee de persoon in punt C aankomt, hangt onder andere af van de wrijvingskracht en van de afstand AB. Om de invloed hiervan te onderzoeken wordt een sterk vereenvoudigd model gemaakt, waarbij de baan wordt verdeeld in drie gedeelten. Zie figuur 3.
In figuur 4 staat het model.

figuur 3



figuur 4

Modelregels	**Startwaarden in SI-eenheden**
sAC = sAB + sBC	hoek = 75
als sAC > s > sAB dan hoek = 75/2 eindals	sAB = 2,00
als s > sAC dan hoek = 0 eindals	sBC = 7,00
Fvooruit = m·g·sin(hoek)	s = 0
Fw = k·m·g·cos(hoek)	v = 0
Fres = Fvooruit – Fw	t = 0
a = Fres / m	dt = 0,001
v = v + a·dt	m = 70
s = s + v·dt	g = 9,81
t = t + dt	k = 0,21
als t > 2,5 dan stop eindals	

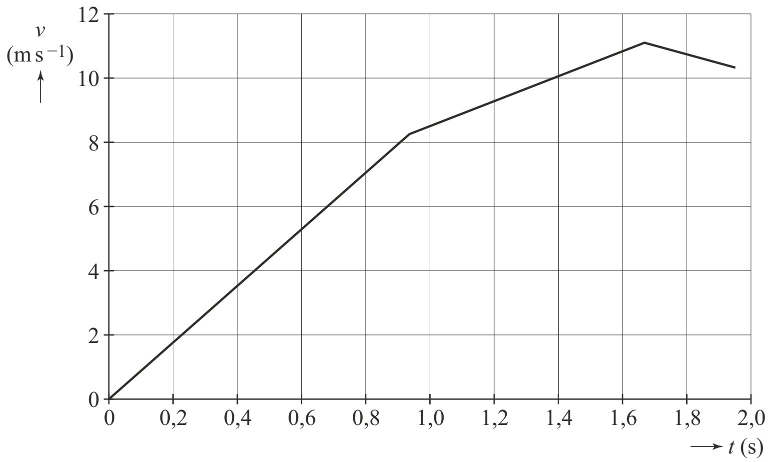


In het model geldt:
- s is de afgelegde weg langs de baan,
- de toevoegingen AB, BC en AC geven aan tussen welke punten.

Een andere waarde van k betekent dat er meer of minder water door de buis stroomt.
4p 8 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit of een grotere waarde van k betekent dat ‘er meer water door de buis stroomt’ of dat er ‘er minder water door de buis stroomt’.
- Leid de eenheid van k af.

In een simulatie van het model wordt sAB zo gekozen dat de snelheid in C gelijk is aan 11 m s^{-1}. Het (*v*,*t*)-diagram dat hiervan het resultaat is, staat in figuur 5.

figuur 5



3p 9 Bepaal met behulp van figuur 5 de waarde van sAB die bij dit resultaat van het model hoort.

Een derde eis voor de X-stream is dat de persoon op het horizontale stuk (het buisdeel CD) op tijd tot stilstand komt. Dit kan door er voor te zorgen dat in buisdeel CD een diepe laag water staat. De persoon remt dan door dit water. De remkracht kan vergroot worden door het water dieper te maken.

Het model van figuur 4 kan worden uitgebreid voor dit deel van de beweging over buisdeel CD. Dit kan bijvoorbeeld door één of meer modelregels, startwaarden en/of stopvoorwaarden (stopcondities) toe te voegen of aan te passen.

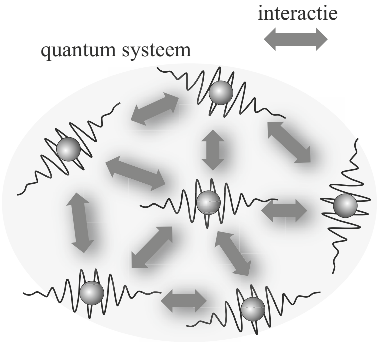
Neem aan dat de extra remkracht evenredig is met het kwadraat van de snelheid. Neem voor de evenredigheidsconstante de waarde 17.
3p 10 Leg uit hoe het model uitgebreid moet worden om ook de beweging in buisdeel CD te beschrijven.

In werkelijkheid is het buisdeel BC niet als een recht stuk ontworpen, maar als een deel van een cirkel.
1p 11 Geef hiervoor de natuurkundige reden.

De kracht van het viriaal-theorema

Lees onderstaand artikel.

Het viriaal-theorema
Vrijwel alle systemen in de natuur, of het nu sterrenstelsels of quantumsystemen zijn, bestaan uit veel deeltjes en zijn niet exact te berekenen.



Met behulp van behoudswetten kunnen er toch belangrijke uitspraken over het systeem gedaan worden. Eén van die behoudswetten is het volgende verband tussen de potentiële energie en de kinetische energie:

$$E_p = -2E_k.$$

Dit verband wordt het viriaal-theorema genoemd.

In de context van sterrenstelsels en andere systemen waar de gravitatiekracht een rol speelt, wordt de volgende vorm van het viriaal-theorema gebruikt:

$$E_g = -2E_k \qquad (1)$$

Hierin is:
- E_g de gravitatie-energie;
- E_k de kinetische energie.

Het internationaal ruimtestation ISS heeft een massa van $4{,}19 \cdot 10^5$ kg en draait op een hoogte van 409 km boven de aarde.

4p **12** Bereken met behulp van het viriaal-theorema (formule (1)) de snelheid van het ISS.

3p **13** Leid het viriaal-theorema (formule (1)) af voor een satelliet met een massa m die in een cirkelbaan om een hemellichaam met massa M draait.

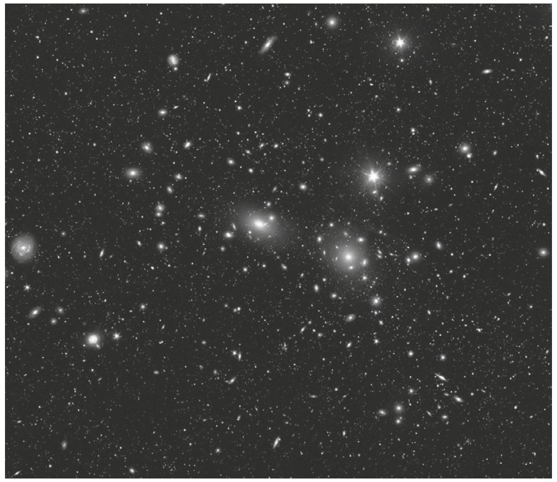
Het viriaal-theorema geldt ook voor verzamelingen van sterrenstelsels. Als men de gravitatie-energie van alle deeltjes in een ster, of van alle sterren in één of meerdere sterrenstelsels bij elkaar optelt, is het resultaat:

$$E_g = -\frac{3GM^2}{5R} \qquad (2)$$

Hierin is:
- M de totale massa;
- R de straal van het systeem;
- G de gravitatieconstante.

Comacluster
Het Comacluster (zie figuur 1) is een verzameling sterrenstelsels met een straal van $8{,}4 \cdot 10^{22}$ m en een 'zichtbare massa' van $3{,}2 \cdot 10^{44}$ kg. (Dat is de massa die tot dan toe waarneembaar was.)
Uit dopplereffectmetingen blijkt dat de gemiddelde snelheid gelijk is aan $1{,}7 \cdot 10^6$ m s^{-1}.

figuur 1



In 1933 concludeerde de sterrenkundige Zwicky dat de massa die volgt uit het viriaal-theorema veel groter is dan de 'zichtbare massa'.
Zwicky was hiermee de eerste die het bestaan aantoonde van 'donkere materie', dit is het niet-zichtbare gedeelte van de totale massa.

3p **14** Bereken voor hoeveel procent het Comacluster uit donkere materie bestaat.

Atomen van helium en waterstof

De elektrische wisselwerking tussen deeltjes hangt op dezelfde manier af van de onderlinge afstand als de gravitatie-wisselwerking. Om deze reden geldt het viriaal-theorema ook voor atomen en moleculen.
De potentiële energie wordt hier geleverd door elektrische aantrekking en afstoting.
Het atoom helium is een niet exact te berekenen systeem. Wel is het mogelijk een computermodel voor de grondtoestand van helium te gebruiken. In tabel 1 staat het resultaat van zo'n modelberekening. Hierin staan voor de totale potentiële energie E_p twee bijdragen:
- $E_{p,kern}$ de potentiële energie door de aantrekking van de elektronen door de kern;
- $E_{p,e\text{-}e}$ de potentiële energie door de onderlinge afstoting van de elektronen.

tabel 1

Energie	eV
E_k	79,0
$E_{p,kern}$	–185,9
$E_{p,e\text{-}e}$	27,9
E_{tot}	–79,0

De energie van de grondtoestand van helium is experimenteel bepaald.
Zie tabel 21C van BiNaS. Hierin staan de experimenteel bepaalde ionisatie-energieën.
De ionisatie-energie is de energie die nodig is om een elektron uit een atoom of ion los te maken.

4p **15** Voer de volgende opdrachten uit:
- Laat zien dat de uitkomsten van de berekeningen in tabel 1 in overeenstemming zijn met het viriaal-theorema.
- Laat zien dat de berekende waarde van de totale energie in tabel 1 in overeenstemming is met experimentele waarden uit BiNaS 21C.

Voor waterstof is de berekening van de grondtoestand wel exact te maken.

3p **16** Vul in de tabel op de uitwerkbijlage de energiewaarden van de grondtoestand van waterstof in.

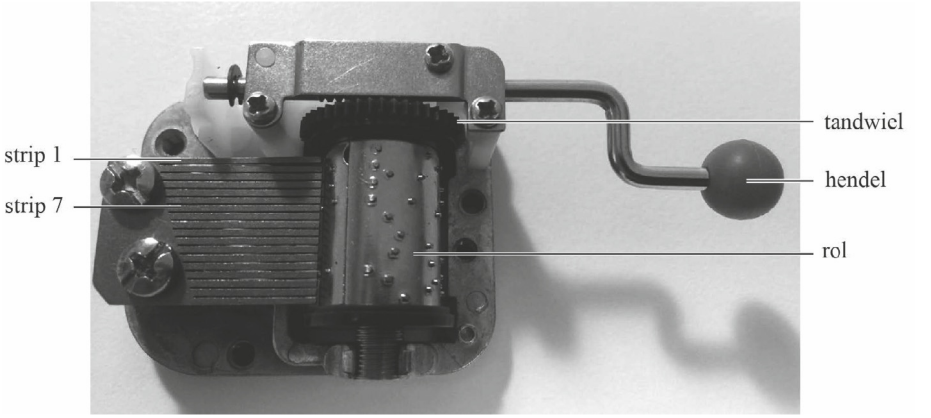
uitwerkbijlage bij vraag 16

Energie	eV
E_k	
$E_{p,kern}$	
$E_{p,e\text{-}e}$	
E_{tot}	

Speeldoosje

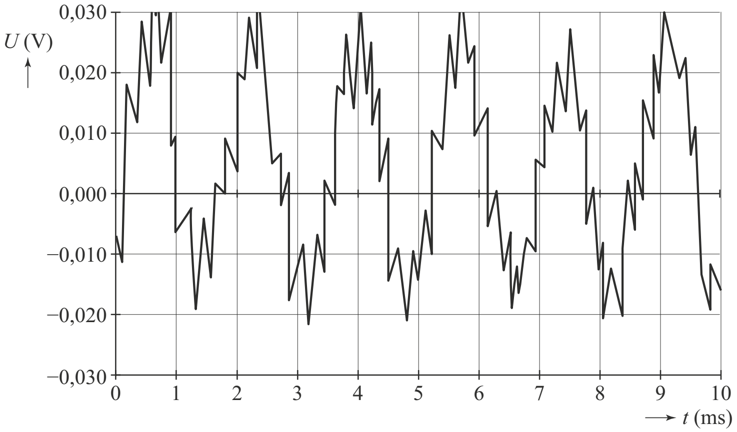
In figuur 1 staat een speeldoosje weergegeven.

figuur 1



Via een hendel en een tandwielconstructie kan een rol in beweging worden gebracht. Op deze rol zijn puntjes aangebracht die de uiteinden van de metalen strips optillen en loslaten. Elke strip heeft een andere lengte en brengt een andere toon voort.
In figuur 2 staat de trilling geproduceerd door strip 1 weergegeven.

figuur 2



De grondfrequentie van de toon die strip 1 voortbrengt, is gelijk aan 0,59 kHz.

2p **17** Toon dat aan.

Strip 7 (zie figuur 1) brengt een toon voort met een grondfrequentie van 0,83 kHz.

De golfsnelheden in strip 1 en strip 7 zijn niet gelijk aan elkaar.

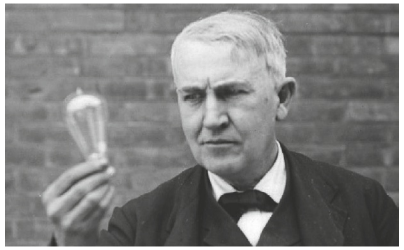
3p **18** Toon dit aan met behulp van een berekening.

De hendel van het speeldoosje kan langzamer of sneller worden rondgedraaid.

2p **19** Leg uit of de toonhoogte van de melodie lager wordt, gelijk blijft of hoger wordt, als de hendel sneller wordt rondgedraaid.

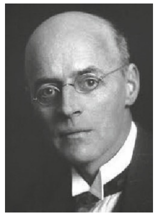
Elektronen uit metaal 'stoken'

Lees onderstaand artikel.



Edison
Thomas Edison was één van de belangrijkste ontwikkelaars van de gloeilamp. Hij constateerde dat een verhitte gloeidraad niet alleen licht maar ook negatieve lading uitzendt.
Edison kende het bestaan van elektronen nog niet en nam in 1883 patent op dit 'Edison-effect' zonder echt te begrijpen wat er gebeurde.

Richardson **Dushman**

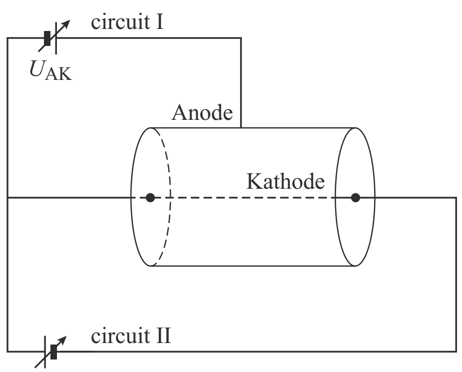


Het effect van het 'uitstoken' van elektronen uit een geleider is in het begin van de twintigste eeuw diepgaand bestudeerd door de Britse fysicus Owen Richardson en de Russisch-Amerikaanse fysicus Saul Dushman. Zij ontvingen daarvoor de Nobelprijs in 1928. **Thermische emissie** is ook nu nog het belangrijkste principe voor betrouwbare elektronenbronnen in vacuüm, toegepast in röntgenbuizen, elektronenmicroscopen en beeldbuizen.

Experiment
Met de opstelling van figuur 1 wil men het verband bepalen tussen de temperatuur van een gloeidraad en het aantal elektronen dat daaruit per seconde vrijkomt. De as van de cilinder is de kathode: een hete gloeidraad van wolfraam. De anode is de mantel van de cilinder.
De anode neemt de uit de draad vrijgekomen elektronen op door de spanning U_{AK} in circuit I.

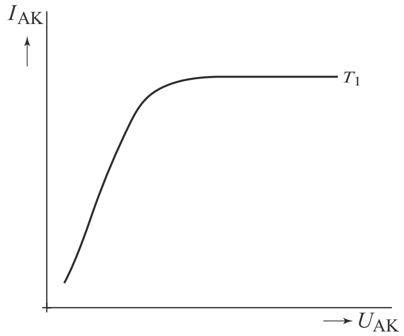
3p **20** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in figuur 1 een stroommeter die de stroom tussen de anode en de kathode meet.
- Teken een spanningsmeter om de spanning U_{AK} te meten.
- Geef aan op welke manier men de temperatuur van de gloeidraad in de schakeling verandert.

figuur 1



Het verband tussen de stroomsterkte I_{AK} en de spanning U_{AK} is geschetst in figuur 2.

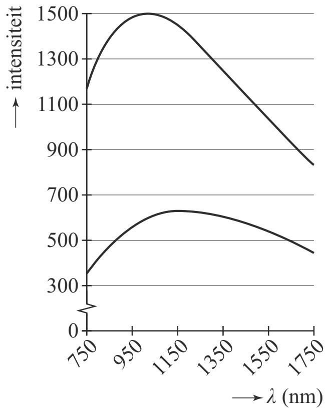
figuur 2



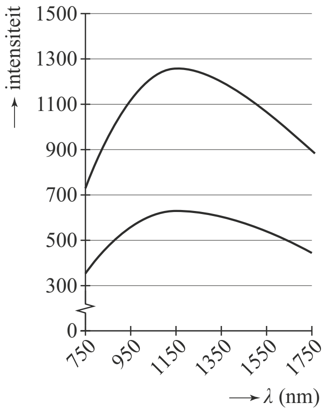
2p **21** Leg uit waarom I_{AK} bij grotere waarden van de spanning U_{AK} niet meer toeneemt.

De temperatuur van de gloeidraad is te bepalen door het uitgezonden stralingsspectrum te vergelijken met de planck-kromme (het ideale spectrum voor een zwarte straler) van dezelfde temperatuur.
De uitgezonden lichtintensiteit van een metaal is lager dan de planck- kromme van dezelfde temperatuur. Deze verzwakking is onafhankelijk van de golflengte.
In de figuren 3a, 3b en 3c is de onderste kromme steeds de kromme van de gloeidraad en de bovenste kromme een planck-kromme.

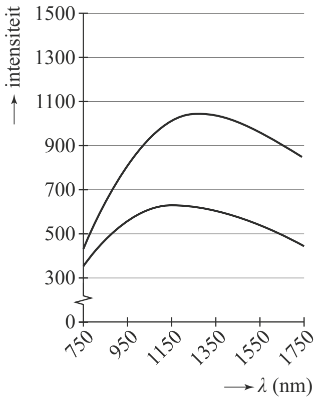
figuur 3a



figuur 3b



figuur 3c



4p **22** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit in welke figuur de planck-kromme met dezelfde temperatuur als de gloeidraad staat.
- Bepaal de temperatuur van de gloeidraad.

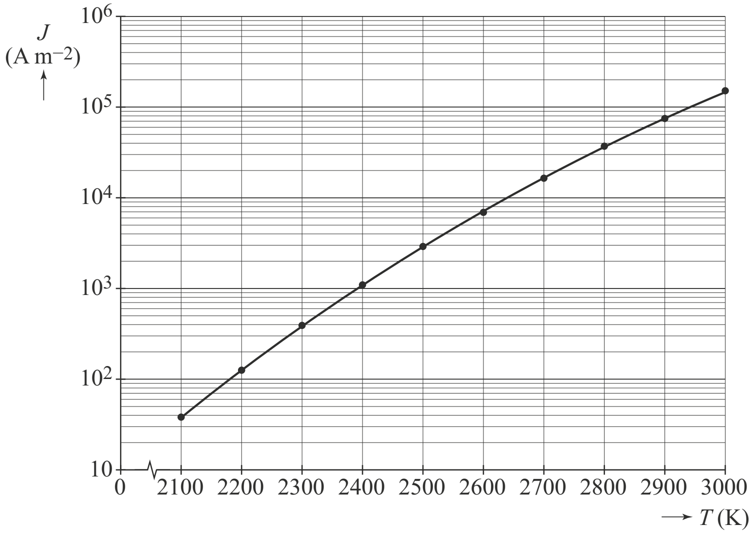
Theorie
Om uit de draad te ontsnappen, moeten de elektronen voldoende energie hebben om de uittree-energie W_u te overwinnen.
Richardson en Dushman gebruikten de uittree-energie in hun formule voor de geproduceerde stroomdichtheid J, dit is de stroomsterkte per eenheid van oppervlak van de gloeidraad:

$$J = \frac{I}{A} = (1-r)\cdot C_0 \cdot T^2 \cdot e^{\left(\frac{-W_u}{K_B T}\right)}.$$

Hierin is:
- I de gemeten stroomsterkte in A;
- A de oppervlakte van de kathode in m^2;
- r de (inwendige) reflectiecoëfficiënt;
- C_0 een natuurconstante: $C_0 = 1{,}20173 \cdot 10^6$ A $m^{-2}K^{-2}$;
- W_u de uittree-energie van het metaal in J;
- k_B de constante van Boltzmann;
- T de absolute temperatuur in K.

De stroomdichtheid J hangt sterk af van de temperatuur. Het verband tussen J en T voor het metaal wolfraam is te zien in figuur 4 (dit is een logaritmisch diagram).
De uittree-energie van wolfraam is $7{,}29 \cdot 10^{-19}$ J.

figuur 4



3p **23** Bepaal met behulp van figuur 4 de grootte van de reflectiecoëfficiënt r.

Bij lagere temperaturen (< 2000 K, zie figuur 4) neemt de 'klassieke' thermische emissie snel af en vindt er alleen nog emissie via het tunneleffect plaats.
Minieme bedekkingen (coatings) als een laagje van enkele moleculen dikte blijken grote invloed te hebben op de thermische emissie.
Met de coating wordt de elektronen een kansrijke (tunnel)weg naar buiten geboden.
Doordat de coating een andere uittree-energie heeft dan wolfraam, wordt de effectieve uittree-energie veranderd.

Voor de debroglie-golflengte van vrije elektronen in een metaal bij een temperatuur T geldt:

$$\lambda_B = \frac{7{,}45 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{T}}.$$

3p **24** Voer de volgende opdrachten uit:
- Ga met een schatting na of dit effect van de coating bij $T = 2000$ K een quantumverschijnsel zou kunnen zijn.
- Leg uit of dit effect sterker is bij lagere temperaturen.

De emissie door deze coating-tunneling wordt bepaald door:
- de dikte van de coating-laag;
- de grootte van de uittree-energie van de coating.

2p **25** Geef aan, aan welke eisen beide grootheden moeten voldoen om de emissie-kans bij lagere temperaturen zo groot mogelijk te maken.

Hints bij examen 2017-II

1 Wat moet bij een kernreactievergelijking links en rechts van de pijl gelijk zijn?

2 Bereken eerst het totaal aantal kernen americium-241.

3 Bereken eerst het aantal elektronen dat per seconde vrijkomt bij de ionisaties.

4 – Ga voor zowel Marieke als voor Hugo na of het signaal hoog is en dan laag, of andersom.
– Let op de ruis van de signalen.

5 Gebruik de wet van Ohm.

6 – Is er onderweg sprake van wrijving?
– Teken en ontbindt de zwaartekracht.

7 Zie Binas 35A4.

8 – Gebruik één van de formules uit de modelregels.
– Druk de eenheid van kracht uit in de basiseenheden.

9 Hoe vind je de afgelegde weg uit een (v,t)-diagram?

10 Hoe beïnvloedt de extra remkracht de totale kracht F_{res}?

11 Vergelijk figuur 3 met de uitwerkbijlage bij vraag 6.

12 Zie Binas 35A5 en 35A4.

13 Welke krachten werken op de satelliet?

14 Gebruik het viriaal-theorema in combinatie met formule (2).

15 – Bereken E_p met behulp van tabel 1.
– Wat wordt verstaan onder ionisatie-energie?

16 Hoeveel elektronen heeft waterstof?

17 Zie Binas 35B1.

18 Stel dat $v_1 = v_7$ en bereken dan $\frac{\ell_1}{\ell_7}$.

19 Wat verstaan we onder de eigenfrequentie van een trillend lichaam?

20 – Hoe sluit je een spanningsmeter aan?
– Ga na hoe de stroom loopt in circuit 1 en in circuit 2.

21 Wat is de definitie van stroomsterkte?

22 – Let op de positie van λ_{max} bij de gloeidraad en bij de planck-kromme.
– Zie Binas 35E1.

23 Gebruik één punt van de grafiek in figuur 4.

24 – In welke buurt liggen de afmetingen van de moleculen?
– Wat gebeurt er met λ_B als de temperatuur lager wordt?

25 Moet de uittree-energie van de coating groter of kleiner zijn dan die van wolfraam?

Uitwerkingen bij examen 2017-II

Rookmelder

3p **1** stap 1: ${}^{238}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{239}_{92}\text{U}$

- *De kern waarmee het kernreactieproces begint, heeft atoomnummer 92 en massagetal 238 (beide waarden afgelezen in figuur 2). Dit is de uraniumkern ${}^{238}_{92}$U (Binas 25A, 40A of 99).*
- *De kern die bij stap 1 ontstaat is ${}^{239}_{92}$U (zie figuur 2 en Binas 25A, 40A of 99).*
- *De som van de massagetallen moet links en rechts van de pijl gelijk zijn ⇒ ⇒ het massagetal van het deeltje links van de pijl is 239 – 238 = 1.*
- *De som van de atoomnummers moet links en rechts van de pijl gelijk zijn ⇒ ⇒ het atoomnummer van het deeltje links van de pijl is 92 – 92 = 0.*
- *Dit deeltje is dus een neutron (${}^{1}_{0}$n).* [1p]

stap 6: ${}^{241}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{241}_{95}\text{Am} + {}^{0}_{-1}\text{e}$

- *De kern waarmee stap 6 begint, heeft atoomnummer 94 en massagetal 241 (beide waarden afgelezen in figuur 2). Dit is de plutoniumkern ${}^{241}_{94}$Pu (Binas 25A, 40A of 99).*
- *De kern die na stap 6 ontstaat is ${}^{241}_{95}$Am* [1p] *(zie figuur 2 en Binas 25A, 40A of 99).*
- *Het massagetal van het deeltje dat vrijkomt is 241 – 241 = 0.*
- *Het atoomnummer van het deeltje dat vrijkomt is 94 – 95 = –1.*
- *Het vrijgekomen deeltje is dus een elektron (${}^{0}_{-1}$e).* [1p] *(${}^{0}_{-1}\beta^-$ i.p.v. ${}^{0}_{-1}$e is ook toegestaan).*

4p **2** We berekenen de massa m van het americium-241 dat de rookmelder bij fabricage bevat met: $m = N \cdot m_{am}$ [1p], waarin:

N = totaal aantal kernen americium-241

Er geldt: $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$ [1p] (Binas 35E3) ⇒ $N = \frac{A \cdot t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2}$, met:

A = activiteit van americium-241 = 37 kBq = $37 \cdot 10^3$ Bq

$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd van americium-241 = 432 y [1p] (Binas 25A) = = $432 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600$ s = $1{,}36 \cdot 10^{10}$ s

zodat: $N = \frac{37 \cdot 10^3 \cdot 1{,}36 \cdot 10^{10}}{\ln 2} = 7{,}26 \cdot 10^{14}$

m_{am} = massa van een americium-241 atoom = 241 u (Binas 25A) = = $241 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 4{,}00 \cdot 10^{-25}$ kg (u = atomaire massa-eenheid, Binas 7B)

Invullen: $m = 7{,}26 \cdot 10^{14} \cdot 4{,}00 \cdot 10^{-25} = 2{,}9 \cdot 10^{-10}$ kg [1p]

3p **3** De stroomsterkte I is de totale hoeveelheid lading die per seconde bij een plaat aankomt: $I = n \cdot e$ [1p], waarin:

n = aantal elektronen dat per seconde vrijkomt bij de ionisaties = = aantal ionisaties per seconde

Er geldt: $n = A \cdot \frac{E_\alpha}{E_{ion}}$ [1p], met:

A = activiteit = aantal α-deeltjes dat per seconde vrijkomt = 37 kBq = $37 \cdot 10^3$ Bq

E_α = energie van een α-deeltje dat vrijkomt bij het verval van een americium-241 kern = 5,6 MeV = $5{,}6 \cdot 10^6$ eV (Binas 25A)

E_{ion} = energie die gemiddeld nodig is voor een ionisatie = 34 eV

zodat: $n = 37 \cdot 10^3 \cdot \frac{5{,}6 \cdot 10^6}{34} = 6{,}1 \cdot 10^9\ \text{s}^{-1}$

e = elementair ladingsquantum = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)

Invullen: $I = 6{,}1 \cdot 10^9 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 9{,}8 \cdot 10^{-10}$ A [1p]

4p **4** – Figuur 5 II past het best bij de uitleg van Marieke. [1p]
Het signaal is eerst hoog (de IR-led staat centraal in de bundel) en bij aanwezigheid van rook wordt het signaal lager (de straling wordt verstrooid, dus er wordt minder straling gedetecteerd).
Figuur 5 III past het best bij de uitleg van Hugo. [1p]
Er is eerst geen straling (de detector ontvangt geen straling) en bij de aanwezigheid van rook wordt het signaal hoog (de detector ontvangt een kleine hoeveelheid verstrooide straling).
– Hugo heeft gelijk. [1p]
In figuur 5 III is het verschil tussen geen straling (met vrijwel geen ruis op het signaal) en een beetje straling (een signaal met ruis) duidelijk waarneembaar.
In figuur 5 II is het verschil tussen het hoge en het lage signaal veel minder goed te zien. Beide signalen hebben ruis, waardoor de twee signalen elkaar gedeeltelijk overlappen. [1p] Hierdoor zou het alarm onterecht wel of niet kunnen afgaan.

3p **5** We berekenen de waarde R van de weerstand met:

$U_R = I \cdot R$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $R = \frac{U_R}{I}$, waarin:

I = stroomsterkte in de keten = 0,20 mA = $0{,}20 \cdot 10^{-3}$ A
U_R = spanning over de weerstand
De LED en de weerstand staan in serie geschakeld $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ $U_{tot} = U_{led} + U_R$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ $U_R = U_{tot} - U_{led}$ = (1,5 – 1,3 [1p]) V (figuur 6) = 0,2 V

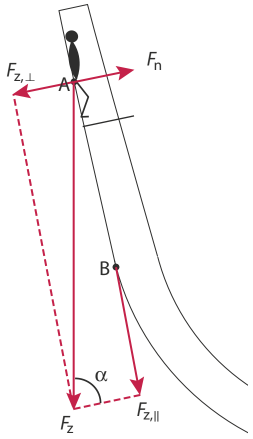
Invullen: $R = \frac{0{,}2}{0{,}20 \cdot 10^{-3}} = 1 \cdot 10^3\ \Omega$ [1p]

X-stream

4p **6** – Zie tekening 1.
Tijdens de beweging in buisdeel AB werkt op de persoon de zwaartekracht F_z, loodrecht omlaag.
F_z is te ontbinden in een kracht $F_{z,//}$, die evenwijdig gericht is aan het buisdeel en de persoon zijn snelheid geeft, en $F_{z,\perp}$ loodrecht op de buis, die de persoon tegen de buis drukt. Als reactie hierop werkt op de persoon een normaalkracht F_n ($F_n = -F_{z,\perp}$). Als gevolg daarvan ontstaat een wrijvingskracht [1p] (Binas 35A3).
Er is in het stuk AB dus geen sprake van een vrije val.
– Zie tekening 1.
Voor de versnelling a van de persoon in buisdeel AB geldt:

$\sin\alpha = \frac{F_{z,//}}{F_z} = \frac{m \cdot a}{m \cdot g}$ (Binas 35A3) $= \frac{a}{g} \Rightarrow a = g \cdot \sin\alpha$ [1p], waarin:

α = 77° [1p] (opgemeten in tekening 1)
$F_{z,//}$ = component van de zwaartekracht in de richting van buisdeel AB
F_z = zwaartekracht op de persoon
m = massa van de persoon
g = versnelling van de zwaartekracht = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
Invullen: $a = 9{,}81 \cdot \sin 77° = 9{,}6$ m s^{-2} [1p]



tekening 1

2p **7** De maximale grootte van de wrijvingskracht F_w bij punt C volgt uit:

$P = F_w \cdot v$ [1p] (Binas 35A4) $\Rightarrow$ $F_w = \frac{P}{v}$, waarin:

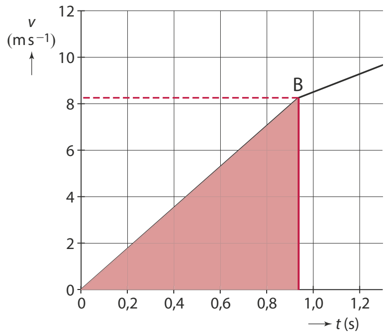
P = maximaal remmend vermogen van de wrijvingskracht bij punt C = $1{,}5 \cdot 10^3$ W
v = maximale snelheid van de persoon bij punt C = 11 m s^{-1}

Invullen: $F_w = \frac{1{,}5 \cdot 10^3}{11} = 1{,}4 \cdot 10^2$ N [1p]

4p **8** – Volgens de modelregels in figuur 4 geldt: $F_w = k \cdot m \cdot g \cdot \cos(\text{hoek})$ [1p], waarin
F_w = wrijvingskracht die de persoon van de baan ondervindt.
Als k groter wordt, wordt F_w groter. De persoon ondervindt dan meer wrijving, dus er stroomt minder water door de buis. [1p]
– Volgens de modelregels geldt: $F_w = k \cdot m \cdot g \cdot \cos(\text{hoek})$
De eenheid van de wrijvingskracht F_w is N = kg m s^{-2} (Binas 4).
De eenheid van de massa m is kg,
de eenheid van de zwaartekrachtversnelling g is m s^{-2}
en cos(hoek) is dimensieloos.
De eenheid is links en rechts van het '=' teken hetzelfde [1p] $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ k heeft geen eenheid (of heeft de eenheid 1). [1p]

3p **9** Zie tekening 2.
In punt B (de knik in de grafiek van tekening 2) gaat de rechte baan AB over in de gebogen baan BC [1p] (zie de uitwerkbijlage bij vraag 6) en vanaf dat punt neemt de snelheid van de persoon minder snel toe.
De waarde van sAB is gelijk aan de oppervlakte van de gearceerde driehoek. [1p]

Aflezen geeft: sAB = $\frac{1}{2} \cdot 0{,}94 \cdot 8{,}2 = 3{,}9$ m [1p]



tekening 2

3p **10** Uitbreidingen van het model voor de beweging in buisdeel CD.
methode 1
Startwaarden: k2 = 17
Modelregels: Frem = k2 · v^2 [1p]
als s > sAC [1p] dan Fres = Fvooruit – Fw – Frem
als v < 0 dan stop eindals [1p]
methode 2
Startwaarden: k2 = 17
Modelregels: als s > sAC [1p] dan $F_w = F_w$ + k2 · v^2 [1p]
als v < 0 dan stop eindals [1p]

1p **11** Als BC als een recht stuk zou zijn ontworpen, is er bij zowel B als bij C een knik in de baan. Een persoon zou bij het passeren van de punten B en C plotseling een grote kracht kunnen ondervinden. De persoon zou zich daardoor kunnen bezeren.
Door BC te ontwerpen als een deel van een cirkel verlopen de overgangen bij B en C vloeiender.

De kracht van het viriaal-theorema

4p **12** De snelheid v van het ruimtestation ISS volgt uit:

$E_g = -2 \cdot E_k \Rightarrow -G \cdot \frac{m \cdot M}{r}$ [1p] $= -2 \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ [1p] (Binas 35A5 en 35A4) $\Rightarrow\ v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$, met:

E_g = gravitatie-energie
E_k = kinetische energie
G = gravitatieconstante = $6{,}674 \cdot 10^{-11}$ N m² kg⁻² (Binas 7A)
m = massa van het ruimtestation
M = massa van de aarde = $5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
r = afstand van het ruimtestation tot het middelpunt van de aarde = $R + h$ [1p], met:
  R = straal van de aarde = $6{,}371 \cdot 10^6$ m (Binas 31)
  h = hoogte van het ruimtestation boven de aarde = 409 km = $0{,}409 \cdot 10^6$ m
  zodat: $r = (6{,}371 + 0{,}409) \cdot 10^6$ m $= 6{,}780 \cdot 10^6$ m

Invullen: $v = \sqrt{\frac{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{6{,}780 \cdot 10^6}} = 7{,}67 \cdot 10^3\ \text{m s}^{-1}$ [1p]

3p **13** Voor de satelliet geldt: $F_g = F_{mpz}$ [1p] (waarin F_g = gravitatiekracht en F_{mpz} = middelpuntzoekende kracht) $\Rightarrow$

$\Rightarrow\ G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r}$ [1p] (Binas 35A5 en 35A2; r = straal van de cirkelbaan) $\Rightarrow$

$\Rightarrow\ G \cdot \frac{m \cdot M}{r} = m \cdot v^2 \Rightarrow -G \cdot \frac{m \cdot M}{r} = -m \cdot v^2 = -2 \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ [1p] $\Rightarrow$

$\Rightarrow\ E_g = -2 \cdot E_k$ (Binas 35A5 en 35A4)

3p **14** Het percentage van het Comacluster dat uit donkere materie bestaat, volgt uit:

$percentage = \frac{M - M_{zb}}{M} \cdot 100\%$, waarin:

M = massa van het Comacluster als we uitgaan van het viriaal-theorema
  Er geldt: $E_g = -\frac{3 \cdot G \cdot M^2}{5 \cdot R}$
  Nu is $E_g = -2 \cdot E_k$, zodat: $-\frac{3 \cdot G \cdot M^2}{5 \cdot R} = -2 \cdot \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 = -M \cdot v^2 \Rightarrow$
  $\Rightarrow\ M = \frac{5 \cdot v^2 \cdot R}{3 \cdot G}$ [1p], met:
  E_g = gravitatie-energie van het Comacluster
  E_k = kinetische energie van het Comacluster
  G = gravitatieconstante = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m² kg⁻² (Binas 7A)
  R = straal van het Comacluster = $8{,}4 \cdot 10^{22}$ m
  v = gemiddelde snelheid van het Comacluster = $1{,}7 \cdot 10^6$ m s⁻¹
  zodat: $M = \frac{5 \cdot (1{,}7 \cdot 10^6)^2 \cdot 8{,}4 \cdot 10^{22}}{3 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11}} = 6{,}1 \cdot 10^{45}$ kg [1p]

M_{zb} = 'zichtbare massa' van het Comacluster = $3{,}2 \cdot 10^{44}$ kg

Invullen: $percentage = \frac{6{,}1 \cdot 10^{45} - 3{,}2 \cdot 10^{44}}{6{,}1 \cdot 10^{45}} \cdot 100\% = 95\%$ [1p]

4p **15**
- Voor de totale potentiële energie E_p van de grondtoestand van helium vinden we:
  $E_p = E_{p,kern} + E_{p,e\text{-}e} = -185{,}9 + 27{,}9 = -158{,}0$ eV [1p] (zie tabel 1)
  Voor de kinetische energie E_k van de grondtoestand van helium geldt: $E_k = 79{,}0$ eV
  Nu is $-158{,}0 = -2 \cdot 79{,}0$, dus $E_p = -2 \cdot E_k \Rightarrow$ de uitkomsten van de berekeningen in tabel 1 zijn in overeenstemming met het viriaal-theorema. [1p]
- Volgens tabel 1 is de berekende waarde van de totale energie van het He-atoom −79,0 eV.
  Volgens Binas 21C is de energie die nodig is om twee elektronen van de kern te verwijderen (24,59 + 54,40) eV = 79 eV. [1p]
  De berekende waarde van de totale energie in tabel 1 stemt dus overeen met de som van de experimentele waarden uit Binas 21C. [1p]

3p **16** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

E_k = kinetische energie = ionisatie-energie van waterstof = 13,6 eV (Binas 21A of 21C)
$E_{p,kern}$ = −2 · E_k (viriaal-theorema) =
= −2 · 13,6 = −27,2 eV [1p]
$E_{p,e\text{-}e}$ = 0 [1p] *(er is maar één elektron)*
E_{tot} = $E_k + E_p$ = 13,6 − 27,2 = −13,6 eV [1p]

Energie	eV
E_k	13,6
$E_{p,kern}$	–27,2
$E_{p,e\text{-}e}$	0
E_{tot}	–13,6

Speeldoosje

2p **17** De grondfrequentie f volgt uit: $f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van strip 1
  Aflezen van de tijd van 4 trillingstijden in figuur 2 geeft:
  $4 \cdot T = (9{,}1 - 2{,}3)$ ms $= 6{,}8$ ms $= 6{,}8 \cdot 10^{-3}$ s $\Rightarrow\ T = \frac{6{,}8 \cdot 10^{-3}}{4} = 1{,}7 \cdot 10^{-3}$ s [1p]

Invullen: $f = \frac{1}{1{,}7 \cdot 10^{-3}} = 588$ Hz $= 0{,}59$ kHz [1p]

3p **18** Voor de verhouding van de golfsnelheden v_7 in strip 7 en v_1 in strip 1 geldt:

$\frac{v_7}{v_1} = \frac{f_7 \cdot \lambda_7}{f_1 \cdot \lambda_1}$ [1p] (Binas 35B1), waarin:

f_7 = grondfrequentie van strip 7 = 0,83 kHz
f_1 = grondfrequentie van strip 1 = 0,59 kHz
λ_7 = golflengte van de staande golf in strip 7
  Er geldt: $\ell_7 = \frac{1}{4} \cdot \lambda_7$ (Binas 35B2) $\Rightarrow\ \lambda_7 = 4 \cdot \ell_7$, met: ℓ_7 = lengte van strip 7
λ_1 = golflengte van de staande golf in strip 1
  Er geldt: $\ell_1 = \frac{1}{4} \cdot \lambda_1$ (Binas 35B2) $\Rightarrow\ \lambda_1 = 4 \cdot \ell_1$ [1p], met: ℓ_1 = lengte van strip 1

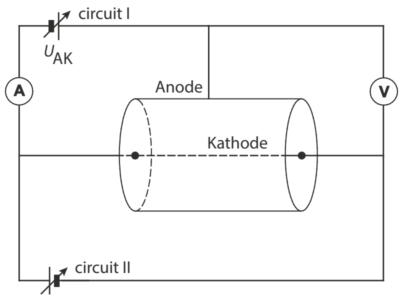
Invullen: $\frac{v_7}{v_1} = \frac{0{,}83 \cdot 4 \cdot \ell_7}{0{,}59 \cdot 4 \cdot \ell_1} = \frac{1{,}4 \cdot \ell_7}{\ell_1}$

Als $v_7 = v_1$ zou dus moeten gelden: $\frac{1{,}4 \cdot \ell_7}{\ell_1} = 1 \Rightarrow \ell_1 = 1{,}4 \cdot \ell_7$

Strip 1 zou in dat geval 1,4 maal zo lang moeten zijn als strip 7. In figuur 1 is duidelijk te zien dat dit niet het geval is $\Rightarrow$ de golfsnelheden v_1 en v_7 zijn niet gelijk aan elkaar. [1p]

2p **19** Als tijdens het draaien aan de hendel een strip wordt opgetild en vervolgens wordt losgelaten, zal hij gaan trillen met zijn eigenfrequentie. Deze frequentie hangt niet af van de draaisnelheid van de hendel. [1p] Door sneller te draaien zal de voortgebrachte melodie in een hoger tempo te horen zijn, maar de toonhoogte van de melodie blijft hetzelfde. [1p]

Elektronen uit metaal 'stoken'



3p **20**
- Voor de plaats van de stroommeter A en de spanningsmeter V: zie de tekening (de ingevulde figuur 1).
  De stroommeter wordt in circuit I in serie geschakeld [1p] *en de spanningsmeter wordt parallel geschakeld aan de anode en kathode.* [1p]
- De temperatuur van de gloeidraad (kathode) in de schakeling wordt veranderd door in circuit II de spanning van de spanningsbron te veranderen.
  Door de spanning te verhogen, wordt de stroom door de gloeidraad groter, waardoor de temperatuur van de draad stijgt. [1p]

2p **21** Als de spanning U_{AK} toeneemt, zullen vanaf een bepaalde waarde van U_{AK} alle elektronen die per seconde uit de gloeidraad vrijkomen bij de mantel van de cilinder (anode) aankomen. [1p] Als de spanning nog verder toeneemt, zal het aantal elektronen dat de anode bereikt niet kunnen stijgen, zodat I_{AK} niet meer zal toenemen. [1p]

4p **22** – De verzwakking van de intensiteit is onafhankelijk van de golflengte. De golflengte λ_{max} , waarbij de uitgezonden intensiteit maximaal is, heeft voor beide krommen dus dezelfde waarde. [1p] Dit is alleen in figuur 3b het geval. [1p]
– We berekenen de temperatuur T van de draad met de wet van Wien:

$\lambda_{max} \cdot T = k_W$ [1p] (Binas 35E1) $\Rightarrow T = \frac{k_W}{\lambda_{max}}$, waarin:

λ_{max} = golflengte waarbij de uitgezonden intensiteit maximaal is.
In figuur 3b (of a of c) lezen we af: $\lambda_{max} = 1150 \text{ nm} = 1150 \cdot 10^{-9}$ m

k_W = constante van Wien = $2{,}898 \cdot 10^{-3}$ m K (Binas 7A)

Invullen: $T = \frac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{1150 \cdot 10^{-9}} = 2{,}5 \cdot 10^3$ K [1p]

3p **23** Er geldt: $J = \frac{I}{A} = (1 - r) \cdot C_0 \cdot T^2 \cdot e^{\left(\frac{-W_u}{k_B \cdot T}\right)}$

We berekenen de reflectiecoëfficiënt r door in de formule de waarden van T en J in te vullen van één punt van de grafiek in figuur 4.
Bij $T = 3000$ K lezen we in figuur 4 af: $J = 1{,}5 \cdot 10^5$ A m^{-2} [1p]
Voor de andere grootheden in de formule geldt:
C_0 = natuurconstante = $1{,}20173 \cdot 10^6$ A m^{-2} K^{-2}
W_u = uittree-energie van wolfraam = $7{,}29 \cdot 10^{-19}$ J
k_B = constante van Boltzmann = $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J K^{-1} [1p] (Binas 7A)

Invullen: $1{,}5 \cdot 10^5 = (1 - r) \cdot 1{,}20173 \cdot 10^6 \cdot (3000)^2 \cdot e^{\left(\frac{-7{,}29 \cdot 10^{-19}}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 3000}\right)} \Rightarrow$

$\Rightarrow 1{,}5 \cdot 10^5 = (1 - r) \cdot 1{,}20173 \cdot 10^6 \cdot (3000)^2 \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-8} \Rightarrow$
$\Rightarrow 1{,}5 \cdot 10^5 = (1 - r) \cdot 2{,}43 \cdot 10^{-5} \Rightarrow r = 0{,}38$ [1p]

3p **24** – Bij $T = 2000$ K geldt voor de debroglie-golflengte λ_B van vrije elektronen:

$\lambda_B = \frac{7{,}45 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{2000}} = 1{,}7 \cdot 10^{-9}$ m [1p]

Deze waarde ligt in de buurt van de grootte van moleculen (Binas 100), dus het effect van de coating zou zeer goed een quantumeffect kunnen zijn. [1p]

– Als de temperatuur T lager wordt, zal volgens $\lambda_B = \frac{7{,}45 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{T}}$ de debroglie-golflengte groter worden, zodat het quantumeffect sterker zal zijn. [1p]

2p **25** Om de tunnelkans bij lagere temperaturen zo groot mogelijk te maken:
– zal de dikte van de coating-laag zo klein mogelijk moeten worden gemaakt.
Hoe dunner de coating, hoe groter de tunnelkans. [1p]
– zal de grootte van de uittree-energie $W_{u,coating}$ kleiner moeten zijn dan die van het metaal.
Hoe lager de uittree-energie van de coating, hoe makkelijker kan tunneling optreden. [1p]

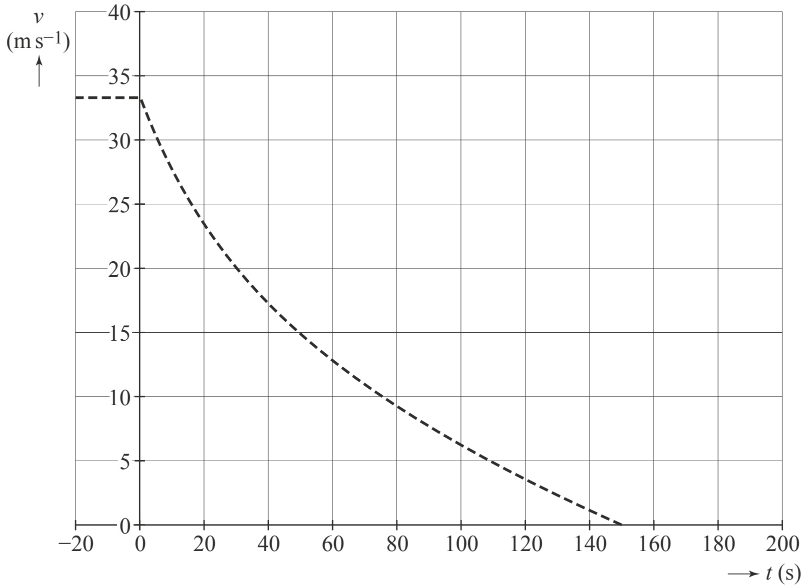
©ThiemeMeulenhoff

Examen 2018-I

Uitrijden van een auto

Een auto (m = 1520 kg) rijdt met een snelheid van 33,3 m s^{-1} (= 120 km h^{-1}) over een vlakke weg bij windstil weer. Op t = 0 s trapt de bestuurder het koppelingspedaal in, zodat de motor niet meer met de wielen verbonden is. Nu 'rijdt de auto uit' en komt de auto een tijdje later tot stilstand. Het (v,t)-diagram van het uitrijden staat in figuur 1.

figuur 1



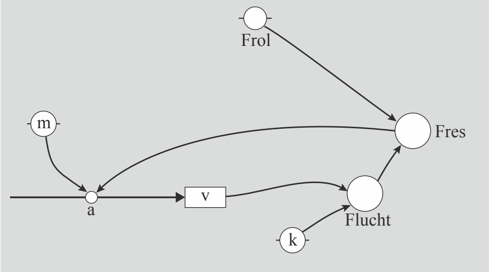
De uitrij-afstand is de afstand die de auto aflegt vanaf het moment dat het uitrijden begint tot het moment dat hij stilstaat.

3p **1** Bepaal met behulp van figuur 1 de uitrij-afstand.

Om inzicht te krijgen in de beweging van de auto, is een computermodel gemaakt. Het model is weergegeven in figuur 2.

figuur 2

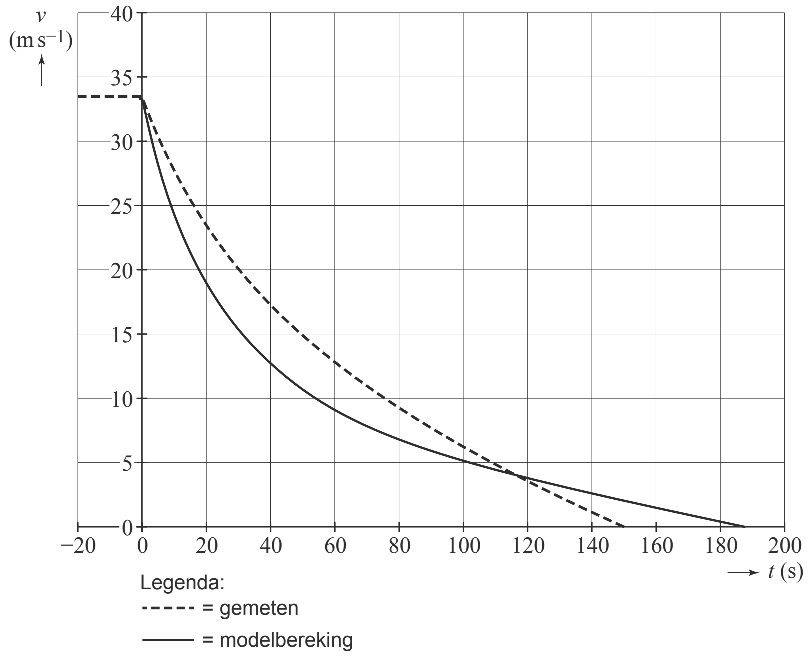
model	startwaarden (in SI-eenheden)
Flucht = k · v^2 Fres = Flucht + Frol a = – Fres / m dv = a · dt v = v + dv t = t + dt	t = 0 dt = 0,01 v = 33,3 m = 1520 k = 1,62 Frol = 76



2p **2** Leid de eenheid van de evenredigheidsconstante k af in basiseenheden (grondeenheden) van het SI, zoals ze staan in BiNaS-tabel 3A en ScienceData-tabel 1.3a.

De resultaten van dit model zijn weergegeven in figuur 3. In figuur 3 staat ook de grafiek van figuur 1.

figuur 3



De waarden van de parameters k en Frol zijn nog niet goed gekozen, zodat de grafiek met de resultaten van het model niet goed overeenkomt met de gemeten grafiek van figuur 1.

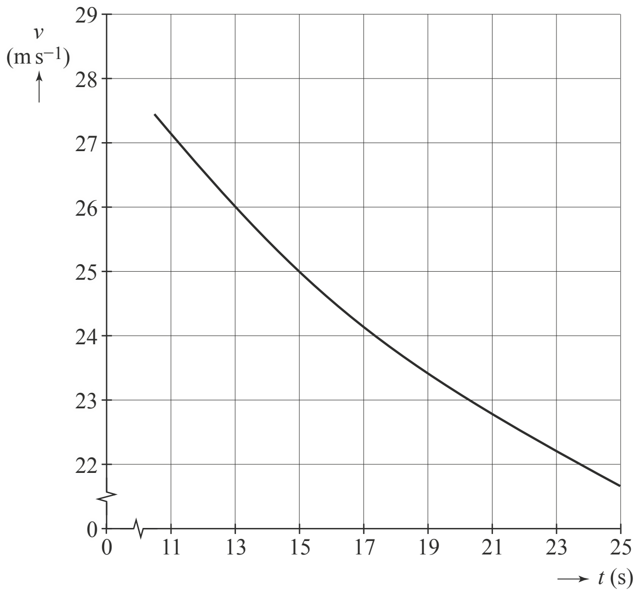
4p **3** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit of de startwaarde van k groter of kleiner gekozen moet worden om de waarden wel goed overeen te laten komen.
- Leg uit of de startwaarde van Frol groter of kleiner gekozen moet worden om de waarden wel goed overeen te laten komen.

Het model van figuur 2 kan worden uitgebreid om ook de uitrij-afstand te berekenen, waarbij het model stopt als de uitrij-afstand bereikt is.

2p **4** Voer de volgende opdrachten uit:
- Beschrijf welke modelregel(s) moet(en) worden toegevoegd.
- Beschrijf welke stopvoorwaarde moet worden toegevoegd.

Met de nieuwe, aangepaste startwaarden voor k en Frol past de uitkomst van het model wel bij de metingen.
Figuur 4 laat een deel van de (v,t)-grafiek zien die het aangepaste model geeft.

figuur 4



Uit deze figuur is het vermogen te bepalen dat de auto moet leveren om met een bepaalde constante snelheid te rijden.

5p **5** Bepaal met behulp van figuur 4 het vermogen dat de motor moet leveren bij een constante snelheid van 25 m s^{-1} (= 90 km h^{-1}).

Water uit de ruimte

Lees onderstaand artikel.

Water is een noodzakelijke voorwaarde voor leven op onze planeet. Volgens veel wetenschappers is water niet op aarde ontstaan, maar is het op aarde 'aangeleverd' door een groot aantal inslagen van kometen, planetoïden en meteoren. Deze bevatten ijs dat oorspronkelijk in koude interstellaire gaswolken met een temperatuur van 10 K is gevormd.

Een komeet met een massa van $12 \cdot 10^3$ kg beweegt op een hoogte van 100 km boven het aardoppervlak met een snelheid van 50 km s^{-1} richting de aarde.
Bij aankomst op de aarde is de massa van de komeet afgenomen tot $6{,}0 \cdot 10^3$ kg. Het totaal van de kinetische energie en de gravitatie-energie is dan nog slechts 0,20% van de oorspronkelijke totale energie.
(Het verschil in gravitatie-energie ten opzichte van de zon is bij deze overgang verwaarloosbaar.)

5p **6** Bereken met welke snelheid de komeet op de aarde aankomt.

Een komeet zendt IR-straling uit. Het spectrum daarvan bestaat uit een deel met lijnen en een continu deel. Uit het spectrum kan men meer te weten komen over de temperatuur en de chemische samenstelling van de komeet.
Op de uitwerkbijlage staat een tabel.

2p **7** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage voor elk deel van het spectrum aan, of daarmee de chemische samenstelling of de temperatuur van de komeet te bepalen is, of geen van beide. Zet hiervoor in elk van de twee regels één kruisje.

uitwerkbijlage bij vraag 7

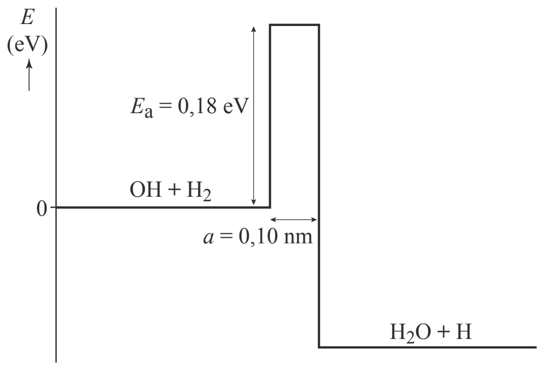
deel van het spectrum	chemische samenstelling van de komeet	temperatuur van de komeet	geen van beide
lijnen			
continu			

Uit spectroscopische analyses van een aantal kometen en planetoïden blijkt dat deze water bevatten met dezelfde isotopenverhouding van waterstof (^1_1H) en deuterium ($^2_1D = ^2_1H$) als op aarde.
Men neemt aan dat water gevormd is in 'interstellaire wolken' bij een temperatuur van 10 K. Eén van de reacties voor watervorming is:

(1) $OH + H_2 \rightarrow H_2O + H$

Deze reactie vindt plaats aan het oppervlak van microscopische stofdeeltjes waarbij ijsmantels om de stofdeeltjes worden gevormd. Zoals bij veel reacties moet ook bij deze reactie een activeringsenergie E_a overwonnen worden. Zie figuur 1.

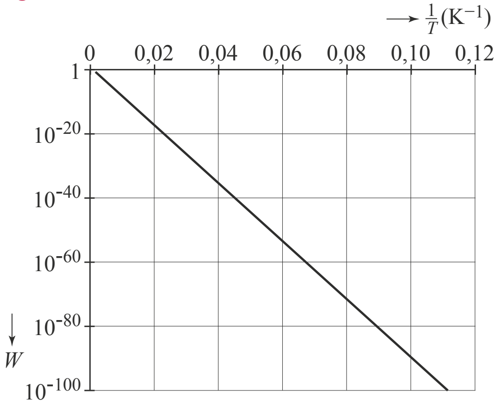
figuur 1



Over deze reactie zijn twee theorieën opgesteld.
- **theorie 1**
  De activeringsenergie E_a wordt geleverd door de thermische energie van de betrokken deeltjes.
  Bij 2100 K hebben de deeltjes een gemiddelde thermische energie van 0,18 eV.
- **theorie 2**
  De energiebarrière wordt doorbroken door het quantum-tunneleffect.

over theorie 1
De waarschijnlijkheid W dat de reactie optreedt volgens theorie 1 is alleen afhankelijk van de temperatuur T. In figuur 2 is deze waarschijnlijkheid W weergegeven als functie van $\frac{1}{T}$

figuur 2



4p **8** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal met behulp van figuur 2 de verhouding van de waarden van W bij 10 K en bij 2100 K.
- Leg hiermee uit dat theorie 1 geen goede verklaring geeft voor het ontstaan van water bij 10 K.

over theorie 2
Als een H_2-deeltje en een OH-deeltje zich voldoende dicht bij elkaar aan het oppervlak van een vast stofdeeltje bevinden, kan er een reactie door het quantum-tunneleffect plaatsvinden. In deze reactie ‘verhuist’ een H-atoom van het H_2-deeltje naar het OH-deeltje, over een afstand $a = 10^{-10}$ m.

Voor deeltjes met een massa m geldt voor de debroglie-golflengte λ in een omgeving met temperatuur T:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\pi m k_B T}}$$

Hierin is:
- k_B de constante van Boltzmann;
- h de constante van Planck.

3p **9** Leg met behulp van deze formule en met figuur 1 uit of er onder deze omstandigheden een redelijke kans is op het quantum-tunneleffect.

Wetenschappers onderzoeken deze reactie in een laboratorium. Ze vervangen daarbij alle waterstofkernen (^1_1H) door deuteriumkernen ($^2_1D = {}^2_1H$). Dit levert de volgende reactie:

(2) $OD + D_2 \rightarrow D_2O + D$

Voor reactie (2) zijn de hoogte en de breedte van de energiebarrière gelijk aan die van reactie (1), zoals weergegeven in figuur 1. Maar reactie (2) heeft een andere kans op het quantum-tunneleffect dan reactie (1).

2p **10** Leg uit of de kans dat het quantum-tunneleffect optreedt met deuteriumkernen groter of kleiner is dan met waterstofkernen.

Tim heeft moeite met theorie 2. Hij zegt: “In figuur 1 blijven de hoogte en breedte van de energiebarrière constant, dus je kunt net zo makkelijk ‘terug-tunnelen’ en dan wordt het water weer even snel afgebroken.”

2p **11** Leg uit of Tim gelijk heeft.

Water maakt leven op een planeet mogelijk. In tabel 32H van BiNaS en in tabel 3.1a van ScienceData wordt het verband gegeven tussen de temperatuur van het heelal en de tijd sinds de oerknal.
Ewine stelt dat het heelal oud genoeg moet zijn voor het vormen van water volgens theorie 2.

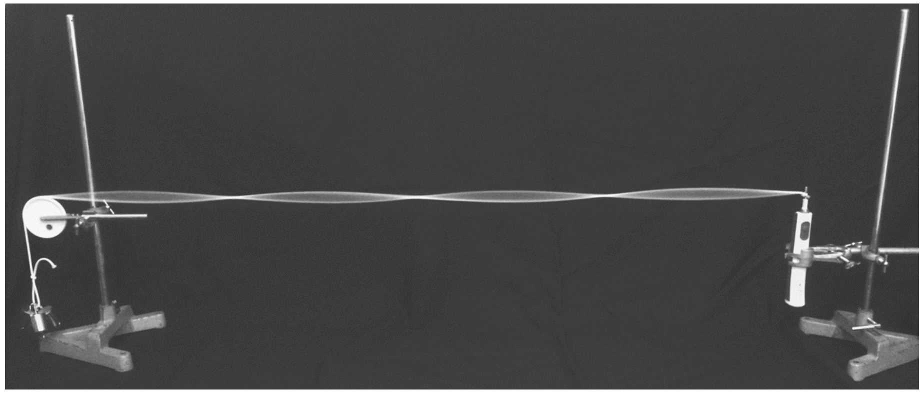
2p **12** Leg uit dat Ewine gelijk heeft.

Elektrische tandenborstel

Figuur 1 is een foto van een elektrische tandenborstel. Hierin is een trilmechanisme verwerkt. Ludo wil de frequentie waarmee dit trilmechanisme trilt bepalen. Hij bouwt hiertoe de opstelling zoals weergegeven in figuur 2. De tandenborstel is hier in een statief geklemd en het borsteltje is verwijderd. Aan het trillende deel van het apparaat is een koord bevestigd, dat over een katrol is gelegd en strak wordt gehouden door het gewicht van een aantal blokjes met een totale massa m.
Als Ludo de tandenborstel aanzet, kan er een staande golf ontstaan in het koord.

figuur 1

figuur 2



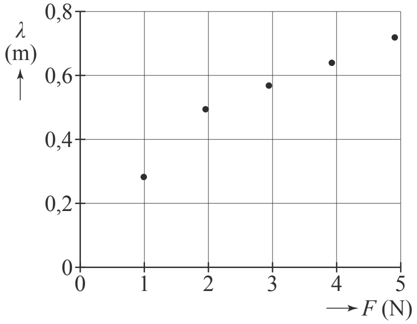
Ludo bepaalt voor een aantal waarden van m steeds de lengte L en het aantal buiken n.
L is de afstand van de tandenborstel tot de katrol.
Zijn meetresultaten staan in de tabel hieronder.

m (kg)	L (m)	n
0,100	1,26	9
0,200	1,50	6
0,300	1,44	5
0,400	1,62	5
0,500	1,43	4

Van de meetresultaten maakt Ludo de grafiek van figuur 3, waarin hij de golflengte λ uitzet tegen de spankracht F in het koord.

3p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Laat met een berekening zien dat de waarden van de eerste meting (m = 0,100 kg) juist in de grafiek zijn gezet.
- Geef aan hoe uit de grafiek volgt dat er geen recht evenredig verband is tussen de golflengte en de spankracht.

figuur 3

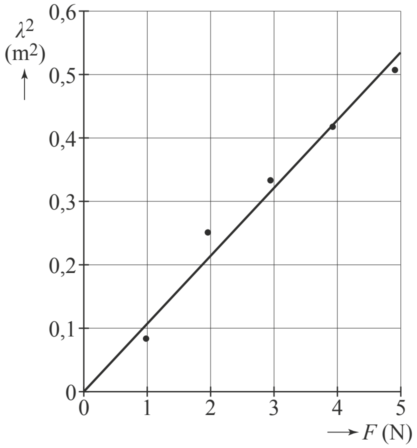


Voor de voortplantingssnelheid van een transversale golf in een koord geldt:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho_\ell}}$$

Hierin is:
- v de voortplantingssnelheid (in m s^{-1});
- F de spankracht (in N);
- ρ_ℓ de lineaire massadichtheid van het koord (in kg m^{-1}).

figuur 4



Voor de verdere verwerking van zijn meetresultaten maakt Ludo een grafiek waarbij hij λ^2 uitzet tegen de spankracht F. Daarna trekt hij een rechte lijn, die zo goed mogelijk door de punten gaat. Het resultaat is in figuur 4 weergegeven. Met behulp van de rechte lijn bepaalt hij de frequentie van het trilmechanisme van de elektrische tandenborstel.

1p **14** Waarom is het nauwkeuriger om de rechte lijn te gebruiken dan één van de meetpunten?

Het koord heeft een lineaire massadichtheid van $1{,}24 \cdot 10^{-4}$ kg m^{-1}.

4p **15** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid onder andere met de gegeven formule af, dat de steilheid van de (λ^2, F)-grafiek gelijk is aan $\dfrac{1}{\rho_\ell f^2}$.
- Bepaal met behulp van deze steilheid de frequentie van het trilmechanisme van de elektrische tandenborstel die uit deze metingen volgt.

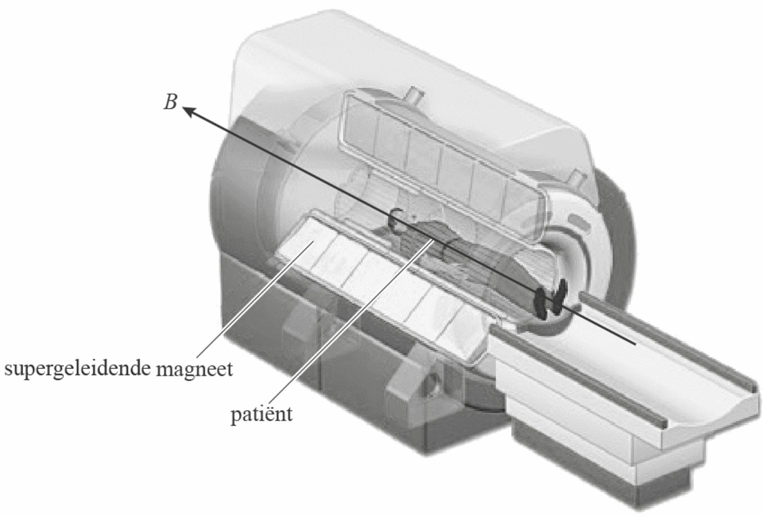
Ludo wil bij dezelfde frequentie minder knopen en buiken laten ontstaan in dit koord.

2p **16** Noem twee grootheden die Ludo daartoe kan aanpassen en geef van beide grootheden apart aan of die groter of kleiner moeten worden.

MRI (Magnetic Resonance Imaging)

Een MRI-scanner kan 3D-beelden van het inwendige van een patiënt maken. Daarbij wordt gebruikgemaakt van een sterk magnetisch veld B en van radiogolven. Zie figuur 1 voor een opengewerkte afbeelding van een MRI-scanner.

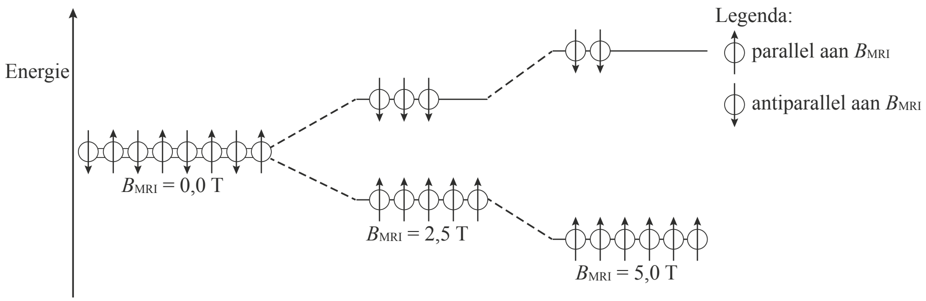
figuur 1



2p **17** Leg uit dat een MRI-scan veiliger is voor de patiënt dan een CT-scan.

De waterstofkernen (protonen) in het lichaam van een patiënt gedragen zich als kleine magneetjes. Deze richten zich als er een magnetisch veld B_{MRI} wordt aangelegd. De waterstofkernen kunnen dan in dezelfde richting als B_{MRI} staan (parallel) of tegengesteld aan B_{MRI} (antiparallel).
De waterstofkernen parallel aan B_{MRI} bevinden zich in een lager energieniveau dan de kernen antiparallel aan B_{MRI}. In het lage energieniveau zitten meer waterstofkernen dan in het hoge energieniveau.
Bij een sterker magnetisch veld is er een groter overschot aan waterstofkernen in het lage energieniveau.
Dit is schematisch weergegeven in figuur 2.

figuur 2



Voor het energieverschil tussen de waterstofkernen die parallel aan B_{MRI} en de waterstofkernen die antiparallel aan B_{MRI} staan, geldt:

$\Delta E = \gamma h B_{MRI}$

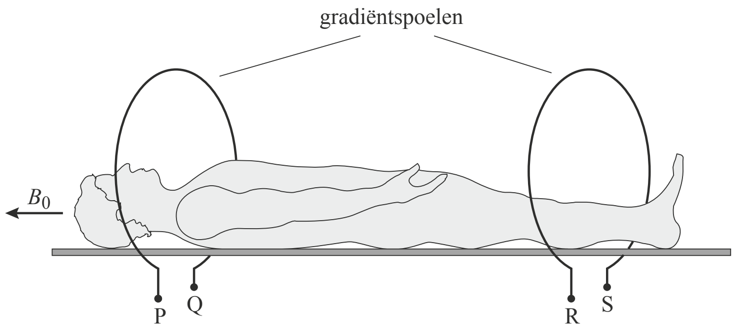
Hierin is:
- γ een constante die voor waterstof gelijk is aan: 42,57 MHz T^{-1};
- h de constante van Planck in J s;
- B_{MRI} de sterkte van het magnetisch veld in T.

Er wordt nu een RF-puls (Radio Frequente puls, puls van radiostraling) naar de patiënt gezonden met fotonen die precies de energie ΔE hebben die nodig is om de waterstofkernen in het hoge energieniveau te brengen.

2p **18** Bereken de frequentie die de RF-puls moet hebben bij een magnetisch veld van 5,0 T.

Het magnetisch veld B_{MRI} bestaat uit een constant magnetisch veld B_0 en het zogenaamde gradiëntveld B_g. B_g heeft dezelfde richting als B_0 of is tegengesteld aan B_0 en is niet op elke plaats even sterk.
Er geldt: $B_{MRI} = B_0 + B_g$.
Het gradiëntveld B_g wordt opgewekt door stroom te sturen door twee spoelen. Zie figuur 3 voor een schematische weergave.

figuur 3

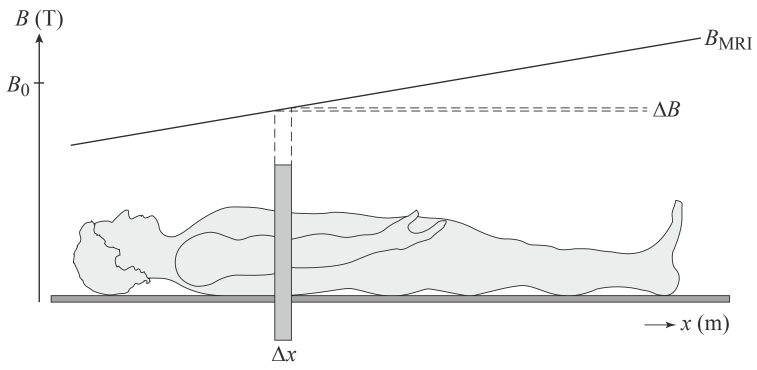


Op een bepaald moment stelt men het gradiëntveld in figuur 3 zodanig in dat het totale magnetisch veld B_{MRI} bij het hoofd van de patiënt minder sterk is dan B_0 en bij de voeten sterker is dan B_0.

3p **19** Geef in figuur 3 voor elke gradiëntspoel aan:
- de richting van het magnetisch veld dat het gradiëntveld levert;
- de richting van de stroom;
- de polariteit van de aansluitingen (plus of min bij P, Q, R en S).

In figuur 4 staat het verloop op een bepaald moment van het totale magnetisch veld B_{MRI} schematisch weergegeven. De patiënt blijft op dezelfde plaats liggen.

figuur 4



De RF-puls heeft een vaste frequentie zoals in vraag 18 berekend en een vaste bandbreedte. Door deze vaste bandbreedte worden waterstofkernen in een gebiedje ΔB naar het hoge energieniveau gebracht.
Hierdoor worden fotonen geabsorbeerd en even later geëmitteerd door waterstofkernen uit een plakje Δx.
De plaats in het lichaam en de dikte van het plakje Δx zijn in te stellen door het gradiëntveld B_g te variëren. Het veld B_0 blijft daarbij constant.

Men verandert het gradiëntveld B_g zodat het plakje Δx dunner wordt **en** bij het hoofd van de patiënt komt te liggen.

2p **20** Teken in figuur 4 hoe B_{MRI} daartoe nu verloopt.

Energievoorziening voor een weerstation

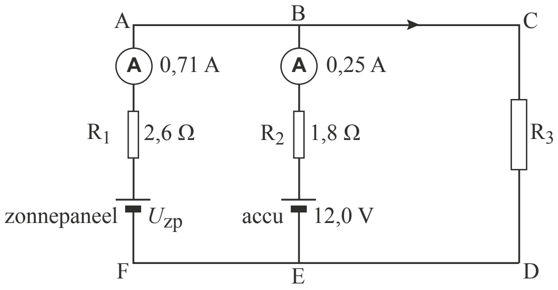
Een afgelegen weerstation is gedurende het hele jaar vierentwintig uur per dag in bedrijf. De installatie wordt van energie voorzien door een 12-volts-accu.

Het elektrisch vermogen van de installatie varieert sterk en bedraagt gemiddeld 2,3 W. Een volledig opgeladen accu heeft een capaciteit van 75 Ah. (Dit houdt in dat de volledig opgeladen accu gedurende 1,0 uur een stroom van 75 A kan leveren, of gedurende 3,0 uur een stroom van 25 A, enzovoorts.) Deze accu voldoet niet om de installatie één jaar te laten werken.

3p **21** Bereken het aantal volledig opgeladen accu's dat in één jaar nodig zou zijn als ze niet tussentijds worden opgeladen.

Overwogen wordt om naast de accu een zonnepaneel in de schakeling op te nemen. Hiertoe wordt een proefopstelling gebouwd. Zie figuur 1.

figuur 1



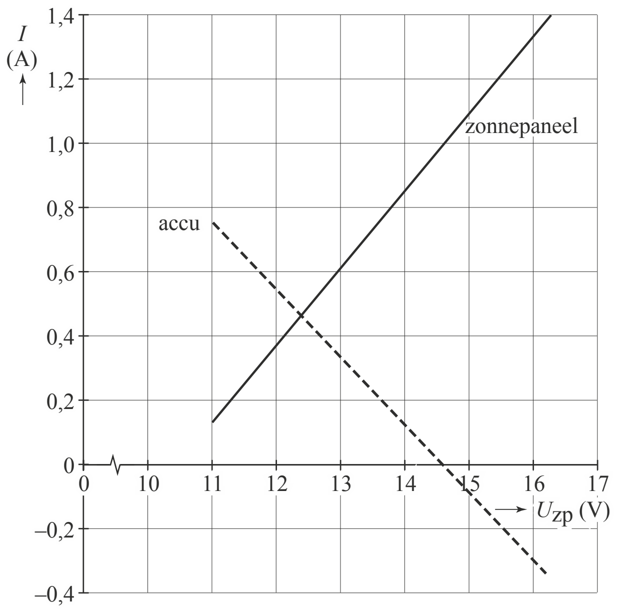
De installatie van het weerstation is weergegeven door een gewone weerstand, aangegeven met R_3. Het zonnepaneel staat in de schakeling parallel aan de accu. Bij een bepaalde lichtsterkte op het zonnepaneel leveren beide spanningsbronnen stroom aan de weerstand R_3 en worden de in figuur 1 weergegeven stroomsterktes gemeten.

4p **22** Bereken het vermogen dat in dat geval aan weerstand R_3 geleverd wordt.

3p **23** Bereken de spanning U_{zp} van het zonnepaneel bij deze lichtsterkte. Gebruik hierbij de spanningswet van Kirchhoff.

De spanning van het zonnepaneel hangt af van de hoeveelheid (zon)licht. Als de hoeveelheid licht toeneemt, neemt U_{zp} toe. Als U_{zp} verandert, blijken zowel de stroom die het zonnepaneel levert als de stroom die de accu levert te veranderen. Dit is weergegeven in figuur 2.

figuur 2

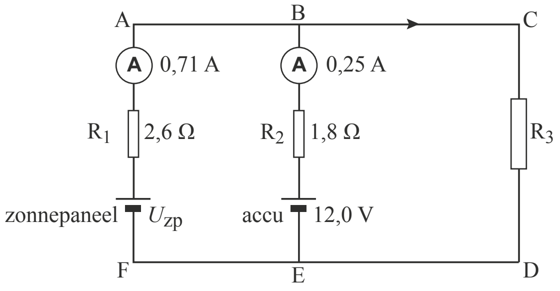


3p **24** Beantwoord de volgende vragen:
- Voor welke waarden van U_{zp} wordt de accu opgeladen?
- Voor welke waarden van U_{zp} levert de accu stroom aan het zonnepaneel?

Het is ongewenst dat de accu stroom levert aan het zonnepaneel. Dit kan men verhinderen door een diode in de schakeling op te nemen.
Op de uitwerkbijlage staat de schakeling van figuur 1 weergegeven.

2p **25** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de diode op een juiste plaats en in de juiste richting.

uitwerkbijlage bij vraag 25



Hints bij examen 2018-I

1 Wat stelt de oppervlakte onder een grafiek in een (v,t)-diagram voor?

2 Zie Binas 4.

3 – Wanneer is de invloed van de luchtwrijving het grootst?
– Wanneer is de invloed van de rolwrijving het grootst?

4 – Hoe groot is de toename van de afstand in één modelstap?
– Wat gebeurt er met de snelheid als de auto tot stilstand komt?

5 Bepaal $F_{weerstand}$ bij v = 25 m s^{-1} met behulp van een raaklijn aan de grafiek.

6 Bereken E_{kin} en E_{grav} vóór en na de overgang.

7 – Waardoor worden de lijnen in een lijnenspectrum veroorzaakt?
– Zie Binas 22.

8 – Lees de waarden van W af in figuur 2.
– Vergelijk de waarschijnlijkheden bij T = 10 K en T = 2100 K.

9 Vergelijk de debroglie-golflengte van het deeltje met de afstand waarover het tunnelt.

10 Wat gebeurt er met λ als de massa m van het deeltje toeneemt?

11 Let op de hoogte van de energiebarrière in figuur 1.

12 Aan welke vereiste moet T voldoen om volgens theorie 2 water te vormen?

13 – Bereken F en λ bij m = 0,100 kg.
– Hoe ziet de grafiek van een recht evenredig verband eruit?

14 Denk aan meetfouten.

15 – Gebruik $v = f \cdot \lambda$ (Binas 35B2).
– Bepaal de steilheid met behulp van figuur 4.

16 Bedenk wat de invloed is van het veranderen van de grootheden uit de opgave.

17 Zie Binas 29.

18 Gebruik Binas 35E2 en denk aan de eenheden.

19 – Bedenk steeds of B_g moet meewerken of tegenwerken.
– Gebruik de rechterhandregel.
– Loopt stroom van plus naar min of andersom?

20 Bedenk waar Δx moet komen te liggen.

21 Bereken de hoeveelheid energie in één accu.

22 Gebruik de stroomwet van Kirchhoff.

23 Pas de spanningwet van Kirchhoff toe op de kring FABEF.

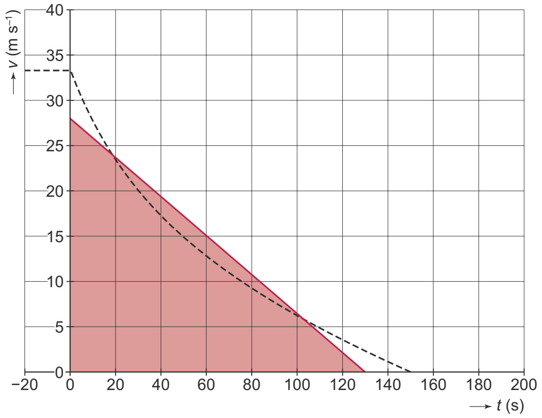
24 – Bedenk wanneer er stroom de accu in loopt.
– Extrapoleer de grafiek.

25 Hoe kan een diode voorkomen dat er stroom de accu in loopt?

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2018-I

Uitrijden van een auto



tekening 1

3p **1** *methode 1*
De uitrij-afstand s is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek in figuur 1 tussen t = 0 s en t = 150 s. [1p]
De waarde van s is bij benadering gelijk aan de oppervlakte van de gearceerde driehoek in tekening 1. [1p]
Aflezen geeft:

$s = \frac{1}{2} \cdot 28 \cdot 130 = 1820 = 1{,}8 \cdot 10^3$ m [1p]

methode 2
We berekenen de uitrij-afstand s met
$s = v_{gem} \cdot t$ [1p] (Binas 35A1), waarin:
v_{gem} = gemiddelde snelheid tussen t = 0 s en t = 150 s = 12 m s^{-1} [1p] (schatten in figuur 1)
t = tijdsduur van het afremmen = 150 s (aflezen in figuur 1)
Invullen: $s = 12 \cdot 150 = 1800 = 1{,}8 \cdot 10^3$ m [1p]

2p **2** $F_{lucht} = k \cdot v^2 \Rightarrow k = \frac{F_{lucht}}{v^2}$

Eenheden invullen:

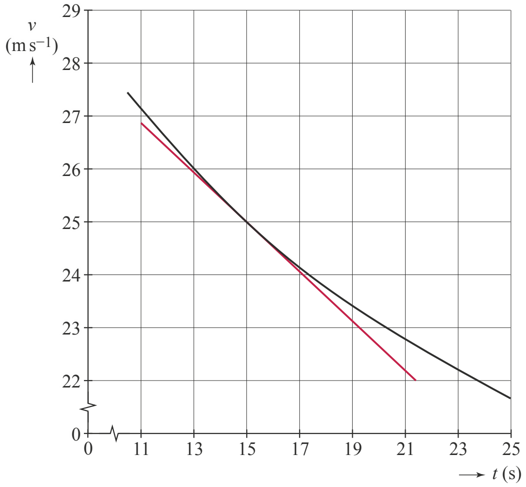
$[k] = \left[\frac{F_{lucht}}{v^2}\right] = \frac{\text{N}}{(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}$ [1p] (Binas 4) $= \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \text{kg m}^{-1}$ [1p]

4p **3** – Voor de luchtwrijving geldt: $F_{lucht} = k \cdot v^2$. De invloed van F_{lucht} is het grootst als de snelheid v het hoogst is [1p], dus aan het begin van het uitrijden. In figuur 3 is te zien dat de snelheid in de modelberekening aan het begin van het uitrijden te snel daalt. De luchtwrijving moet dus kleiner worden $\Rightarrow$ k moet kleiner worden gekozen. [1p]
– De rolwrijving F_{rol} is gedurende de hele uitrijbeweging constant. Als de snelheid aan het einde van de beweging laag is geworden, is F_{lucht} klein geworden ten opzichte van F_{rol}. [1p] In figuur 3 is te zien dat de snelheid in de modelberekening aan het einde van het uitrijden niet snel genoeg daalt $\Rightarrow$ F_{rol} moet dus groter worden gekozen. [1p]

2p **4** – Om de uitrij-afstand te berekenen maken we gebruik van de snelheid v die in het model wordt berekend. Tijdens elke tijdstap dt wordt een afstand ds van $ds = v \cdot dt$ (Binas 35A1) afgelegd. De totale afgelegde afstand s is dan te berekenen met de modelregels:
ds = v · dt
s = s + ds [1p]
Deze modelregels kunnen ook worden samengevoegd tot s = s + v · dt
– De uitrij-afstand is bereikt als de snelheid 0 is geworden. Omdat in een computermodel de exacte waarde 0 niet altijd wordt bereikt, voegen we als stopvoorwaarde toe:
als v ≤ 0 dan stop eindals [1p]

©ThiemeMeulenhoff

5p **5** *Omdat de auto met een constante snelheid rijdt, weten we dat de resulterende kracht F_{res} op de auto gelijk is aan de som van de weerstandskrachten $F_{weerstand}$. Tijdens het uitrijden van de auto werken alleen weerstandskrachten op de auto. De som van de weerstandskrachten bij een snelheid van 25 m s^{-1} kunnen we dus bepalen met behulp van figuur 4 ⇒*
⇒ de helling van de raaklijn aan de grafiek bij 25 m s^{-1} is gelijk aan de vertraging ten gevolge van de weerstandskrachten.



tekening 2

We berekenen het vermogen P_{motor} van de motor met :
$P_{motor} = F_{motor} \cdot v$ [1p] (Binas 35A4), waarin:
F_{motor} = motorkracht van de auto
Er geldt: $F_{res} = 0$ (constante snelheid) ⇒
⇒ $|F_{motor}| = |F_{weerstand}|$ [1p] met:
F_{res} = resulterende kracht op de auto
$F_{weerstand}$ = som van de weerstandskrachten op de auto
Er geldt: $F_{weerstand} = m \cdot a$ [1p] (Binas 35A3) $= m \cdot \left(\dfrac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{raakl}$
(Binas 35A1), met:
m = massa van de auto = 1520 kg
a = versnelling van de auto bij 25 m s^{-1}
Δv = snelheidsafname = (26,8 – 22,0) = 4,8 m s^{-1} (zie tekening 2)
Δt = tijdsduur = (21,4 – 11,0) = 10,4 s [1p] (zie tekening 2)
zodat: $F_{weerstand} = 1520 \cdot \dfrac{4{,}8}{10{,}4} = 702$ N
zodat: $F_{motor} = 1520 \cdot 0{,}462 = 702$ N
v = snelheid van de auto = 25 m s^{-1}
Invullen: $P_{motor} = 702 \cdot 25 = 1{,}8 \cdot 10^4$ W [1p]

Water uit de ruimte

5p **6** We berekenen de snelheid v_A waarmee de komeet op aarde aankomt met behulp van de kinetische energie $E_{kin,A} = \frac{1}{2} \cdot m_{k,A} \cdot v_{k,A}^2$ (Binas 35A4) ⇒ $v_{k,A} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot E_{kin,A}}{m_{k,A}}}$, waarin:

$E_{kin,A}$ = kinetische energie van de komeet wanneer deze op aarde aankomt
Om $E_{kin,A}$ te berekenen, maken we gebruik van energiebehoud:
$\sum E_{ver} = \sum E_A$ (Binas 35A4) ⇒ $\eta \cdot (E_{kin,ver} + E_{grav,ver})$ [1p] $= E_{kin,A} + E_{grav,A}$ [1p] ⇒
⇒ $E_{kin,A} = \eta \cdot (E_{kin,ver} + E_{grav,ver}) - E_{grav,A}$, met:
E_{ver} = totale energie van de komeet op een hoogte van 100 km
E_A = totale energie van de komeet bij aankomst op aarde
η = deel van de totale energie dat bij aankomst op aarde nog over is = = 0,20% = $2{,}0 \cdot 10^{-3}$
$E_{kin,ver}$ = kinetische energie van de komeet op een hoogte van 100 km = $= \frac{1}{2} m_{k,ver} \cdot v_{k,ver}^2$, met:
$m_{k,ver}$ = massa van de komeet op een hoogte van 100 km = $= 12 \cdot 10^3$ kg
$v_{k,ver}$ = snelheid van de komeet op een hoogte van 100 km = = 50 km s^{-1} = $50 \cdot 10^3$ m s^{-1}
zodat: $E_{kin,ver} = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot (50 \cdot 10^3)^2 = 1{,}5 \cdot 10^{13}$ J

$E_{grav,ver}$ = gravitatie-energie van de komeet op een hoogte van 100 km = $= -\dfrac{G \cdot m_{k,ver} \cdot m_A}{r_A + h}$ [1p] (Binas 35A4), met:
G = gravitatieconstante = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
$m_{k,ver}$ = massa van de komeet op een hoogte van 100 km = $= 12 \cdot 10^3$ kg
m_A = massa van de aarde = $5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
r_A = straal van de aarde = $6{,}37 \cdot 10^6$ m [1p] (Binas 31)
h = hoogte van de komeet boven het aardoppervlak = = 100 km = $100 \cdot 10^3$ m
zodat: $E_{grav,ver} = -\dfrac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 5{,}97 \cdot 10^{24}}{6{,}37 \cdot 10^6 + 100 \cdot 10^3} = -7{,}39 \cdot 10^{11}$ J

$E_{grav,A}$ = gravitatie-energie van de komeet bij aankomst op aarde = $= -\dfrac{G \cdot m_{k,A} \cdot m_A}{r_A}$, met:
G = gravitatieconstante = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
$m_{k,A}$ = massa van de komeet bij aankomst op aarde = $= 6{,}0 \cdot 10^3$ kg
m_A = massa van de aarde = $5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
r_A = straal van de aarde = $6{,}37 \cdot 10^6$ m (Binas 31)
zodat: $E_{grav,A} = -\dfrac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 6{,}0 \cdot 10^3 \cdot 5{,}97 \cdot 10^{24}}{6{,}37 \cdot 10^6} = -3{,}75 \cdot 10^{11}$ J

zodat: $E_{kin,A} = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot (1{,}5 \cdot 10^{13} - 7{,}39 \cdot 10^{11}) + 3{,}75 \cdot 10^{11} = 4{,}04 \cdot 10^{11}$ J
$m_{k,A}$ = massa van de komeet bij aankomst op aarde = $6{,}0 \cdot 10^3$ kg
$v_{k,A}$ = snelheid van de komeet bij aankomst op aarde

Invullen: $v_{k,A} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 4{,}04 \cdot 10^{11}}{6{,}0 \cdot 10^3}} = 1{,}2 \cdot 10^4$ m s^{-1} [1p]

2p **7** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

deel van het spectrum	chemische samenstelling van de komeet	temperatuur van de komeet	geen van beide
lijnen	X [1p]		
continu		X [1p]	

- *In een lijnenspectrum zijn de spectraallijnen te zien die horen bij de verschillende elementen die in de komeet aanwezig zijn. Het lijnenspectrum geeft dus informatie over de chemische samenstelling van de komeet.*
- *In het continue deel van het spectrum is te zien welke kleuren licht de komeet uitzendt. Door dit continue deel te analyseren is het mogelijk om, bijvoorbeeld met behulp van de wet van Wien, de temperatuur van de komeet te bepalen.*

4p **8** – In figuur 2 staat de waarschijnlijkheid W uitgezet tegen de inverse temperatuur $\frac{1}{T}$.
De waarde van W bij 10 K lezen we daarom af bij $\frac{1}{T} = \frac{1}{10} = 0{,}10 \;\Rightarrow\; W = 10^{-90}$ [1p]
De waarde van W bij 2100 K lezen we af bij $\frac{1}{T} = \frac{1}{2100} = 4{,}8 \cdot 10^{-4} \;\Rightarrow\; W = 1$ [1p]
De verhouding tussen de waarden van W bij 10 K en bij 2100 K is dus $10^{-90} : 1$ [1p]
– De kans dat de reactie optreedt bij een temperatuur van 10 K is bijzonder klein ten opzichte van de kans bij een hoge temperatuur. Het is daarom zeer onwaarschijnlijk dat het water bij 10 K gevormd is ⇒ theorie 1 is geen goede verklaring voor het ontstaan van water bij 10 K. [1p]

3p **9** Er is een redelijke kans op quantumeffecten als de debroglie-golflengte λ van dezelfde orde van grootte of groter is dan de afstand a waarop de effecten plaatsvinden.

We berekenen λ met: $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2\pi \cdot m \cdot k_B \cdot T}}$, waarin:

h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
m = massa van het H-atoom = 1,007825 u (Binas 25A) =
= $1{,}007825 \cdot 1{,}661 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B) = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg
k_B = constante van Boltzmann = $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J K^{-1} [1p] (Binas 7A)
T = temperatuur waarbij het effect plaatsvindt = 10 K

Invullen: $\lambda = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2\pi \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 10}} = 5{,}5 \cdot 10^{-10}$ m [1p]

Dit is van een vergelijkbare orde van grootte als de afstand $a = 10^{-10}$ m, dus is er een redelijke kans dat het quantum-tunneleffect hier op zal treden. [1p]

2p **10** Een deuteriumkern is zwaarder dan een waterstofkern. [1p] In de formule $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2\pi \cdot m \cdot k_B \cdot T}}$ is te zien dat als de massa m van het tunnelende deeltje toeneemt, de debrogliegolflengte λ afneemt. In verhouding tot de afstand a wordt λ kleiner ⇒ de kans op quantumeffecten neemt af. [1p]

2p **11** Zie figuur 1. Als de reactie van links naar rechts verloopt ($OH + H_2 \rightarrow H_2O + H$), dan is de activeringsenergie E_a gelijk aan 0,18 eV. Als de reactie andersom zou verlopen ($H_2O + H \rightarrow OH + H_2$), dan zou de energiedrempel hoger zijn en is E_a dus hoger. [1p] Hoe hoger de energiebarrière, hoe kleiner de kans op tunneling ⇒ Tim heeft ongelijk. [1p]

2p **12** In de formule $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2\pi \cdot m \cdot k_B \cdot T}}$ is te zien dat een hogere temperatuur zorgt voor een kleinere λ en daarmee een kleinere kans op tunneling. [1p] In Binas 32H is te zien dat de temperatuur van het heelal vlak na de oerknal zeer hoog was (10^{32} K). Pas na 10^9 jaar werd een temperatuur bereikt van de orde van grootte waar het in deze opgave over gaat (15 K). Vóór die tijd was het heelal dus te heet om volgens theorie 2 water te vormen ⇒ Ewine heeft gelijk. [1p]

Elektrische tandenborstel

3p **13** – Om te laten zien dat de meetwaarden bij $m = 0{,}100$ kg juist in de grafiek zijn gezet, berekenen we F en λ bij $m = 0{,}100$ kg.
F = spankracht in het koord = zwaartekracht die op de massa m werkt =
= $m \cdot g$ (Binas 35A3) = $0{,}100 \cdot 9{,}81$ (Binas 7A) = 0,981 N
λ = golflengte. Hiervoor geldt: $L = n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ (Binas 35B2) ⇒ $\lambda = \frac{2 \cdot L}{n}$, met:
L = lengte van het koord = 1,26 m
n = aantal buiken = 9 [1p]
zodat: $\lambda = \dfrac{2 \cdot 1{,}26}{9} = 0{,}28$ m [1p]
De coördinaat (0,981 N; 0,28 m) komt overeen met het eerste meetpunt in de grafiek van figuur 3.
– Bij een recht evenredig verband is het mogelijk om een rechte lijn door de oorsprong te trekken die bij benadering door alle meetpunten loopt. Bij deze meetpunten is dat niet mogelijk ⇒ er is geen recht evenredig verband tussen de golflengte en de spankracht. [1p]

1p **14** Bij elke meting kan een (kleine) meetonnauwkeurigheid optreden. Door een rechte lijn door de meetpunten te trekken, worden die onnauwkeurigheden uitgemiddeld, en stijgt dus de nauwkeurigheid.

4p **15** – Het verband tussen λ^2 en F is recht evenredig. Dat wil zeggen dat er een formule op te stellen is van de vorm $\lambda^2 = a \cdot F$, waarin a de steilheid van de lijn is.
Om dit verband te vinden, stellen we de gegeven formule voor de voortplantingssnelheid $v = \sqrt{\frac{F}{\rho_\ell}}$ gelijk aan $v = f \cdot \lambda$ [1p] (Binas 35B2):

$$\sqrt{\frac{F}{\rho_\ell}} = f \cdot \lambda \;\Rightarrow\; \frac{F}{\rho_\ell} = f^2 \cdot \lambda^2 \;\Rightarrow\; \lambda^2 = \frac{1}{\rho_\ell \cdot f^2} \cdot F$$

Hieruit volgt dat de steilheid a inderdaad gelijk is aan $\dfrac{1}{\rho_\ell \cdot f^2}$ [1p]

– We bepalen de frequentie f met behulp van de afgeleide formule voor de steilheid:

$$\frac{\Delta\lambda^2}{\Delta F} = \frac{1}{\rho_\ell \cdot f^2} \;\Rightarrow\; f^2 = \frac{\Delta F}{\rho_\ell \cdot \Delta\lambda^2} \;\Rightarrow\; f = \sqrt{\frac{\Delta F}{\rho_\ell \cdot \Delta\lambda^2}}$$, waarin:

ΔF = verandering in kracht = 5,0 N (gekozen in figuur 4)
ρ_ℓ = lineaire massadichtheid van het koord = $1{,}24 \cdot 10^{-4}$ kg m^{-1}
$\Delta\lambda^2$ = verandering in λ^2 bij een ΔF van 5,0 N = 0,53 m^2 [1p] (afgelezen in figuur 4)

Invullen: $f = \sqrt{\dfrac{5{,}0}{1{,}24 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}53}} = 2{,}8 \cdot 10^2$ Hz [1p]

2p **16** Bijvoorbeeld:

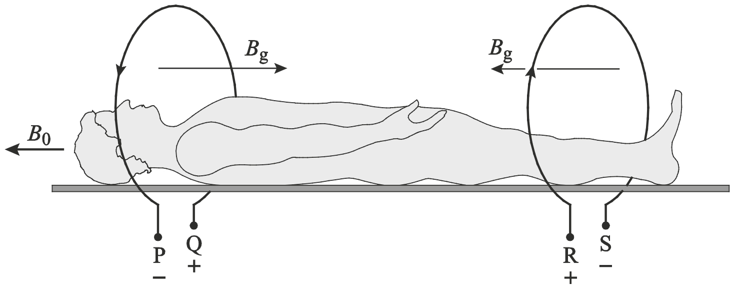
- Ludo kan de lengte van het koord L kleiner maken. [1p]
  Omdat $L = n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ (Binas 35B2) zal een kleinere L bij een gelijkblijvende golflengte λ tot een kleiner aantal buiken n leiden.
- Ludo kan de massa van de blokjes m groter maken. [1p]
  Omdat bij een grotere massa m een grotere spankracht F ontstaat, zal de golfsnelheid v toenemen volgens $v = \sqrt{\frac{F}{\rho_\ell}}$. Omdat $v = \lambda \cdot f$ (Binas 35B2) zal bij een gelijkblijvende frequentie f de golflengte λ ook toenemen. Hierdoor passen er minder buiken op het koord.

MRI (Magnetic Resonance Imaging)

2p **17** Zie Binas 29.
Bij een MRI-scan wordt gebruik gemaakt van een magneetveld en van radiogolven. Daarbij wordt geen ioniserende straling gebruikt, en de patiënt loopt dus geen effectieve dosis op.
Bij een CT-scan wordt gebruik gemaakt van röntgenstraling, en ontvangt de patiënt een effectieve dosis tussen de 0,1 en 20 mSv. [1p]
De MRI-scan is dus veiliger dan de CT-scan. [1p]

2p **18** We berekenen de frequentie f die de RF-puls moet hebben met:
$\Delta E = h \cdot f$ [1p] (Binas 35E2) en $\Delta E = \gamma \cdot h \cdot B_{MRI} \Rightarrow h \cdot f = \gamma \cdot h \cdot B_{MRI} \Rightarrow f = \gamma \cdot B_{MRI}$, waarin:
ΔE = energieverschil tussen de waterstofkernen die parallel aan B_{MRI} en de waterstofkernen die antiparallel aan B_{MRI} staan
h = constante van Planck
γ = constante = 42,57 MHz T^{-1} = 42,57 · 10^6 Hz T^{-1}
B_{MRI} = sterkte van het magnetisch veld = 5,0 T
Invullen: $f = 42{,}57 \cdot 10^6 \cdot 5{,}0 = 2{,}1 \cdot 10^8$ Hz [1p]

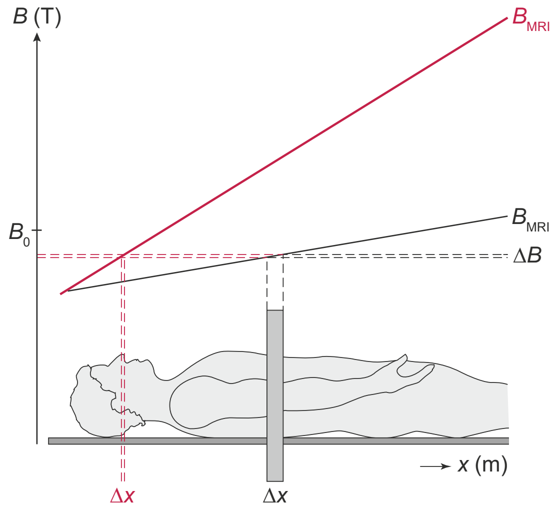
3p **19** Zie tekening 1.



tekening 1

- *Bij het hoofd van de patiënt moet de totale magnetische inductie B_{MRI} kleiner zijn dan B_0. B_g moet dan dus tegengesteld zijn aan $B_0 \Rightarrow$ pijl naar rechts.* [1p] *Bij de voeten is dit precies andersom.*
- *Met de rechterhand-regel is de richting van de stroom te bepalen: als de duim met B_g mee gericht is, geven de vingers de stroomrichting aan. Die is dus van Q naar P en van R naar S.* [1p]
- *Stroom loopt van plus naar min. Q en R zijn dus plus, P en S zijn min.* [1p]

2p **20** Zie tekening 2.
De dikte van het plakje Δx hangt af van de steilheid van het gradiëntveld: hoe steiler, hoe dunner. B_{MRI} moet dus steiler worden. [1p]
Om het plakje bij het hoofd van de patiënt te maken, moet veldsterkte B_{MRI} ter hoogte van het hoofd van de patiënt binnen de bandbreedte ΔB komen te liggen. [1p]



tekening 2

Energievoorziening voor een weerstation

3p **21** *methode 1*

We berekenen het benodigde aantal accu's N met $N = \frac{E_{jaar}}{E_{accu}}$, waarin:

E_{jaar} = energie die de installatie in 1 jaar nodig heeft = $P \cdot t$ [1p] (Binas 35D1), met:
P = gemiddeld elektrisch vermogen van de installatie = 2,3 W
t = tijdsduur = 1 jaar = 3,15 · 10^7 s (Binas 5)
zodat: $E_{jaar} = 2{,}3 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7 = 7{,}25 \cdot 10^7$ J
E_{accu} = energie in een volledig opgeladen accu. De accu heeft bij een spanning van 12 V een capaciteit van 75 Ah. Dat betekent dat de accu bij deze spanning 1 uur lang een stroomsterkte van 75 A kan leveren. Dan geldt:
$E_{accu} = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$ [1p] (Binas 35D1), met:
P = elektrisch vermogen van de accu
U = spanning van de accu = 12 V
I = stroomsterkte = 75 A
t = tijdsduur = 1 uur = 3600 s
zodat: $E_{accu} = 12 \cdot 75 \cdot 3600 = 3{,}24 \cdot 10^6$ J

Invullen: $N = \frac{7{,}25 \cdot 10^7}{3{,}24 \cdot 10^6} = 22{,}4 \Rightarrow$ er zijn dus 23 accu's nodig. [1p]

methode 2

We berekenen het benodigde aantal accu's N met $N = \frac{C_{tot}}{C_{accu}}$, waarin:

C_{tot} = benodigde capaciteit in 1 jaar in Ah = $I \cdot t$ [1p], met:
I = stroomsterkte in de installatie. $P = U \cdot I$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow I = \frac{P}{U}$, met:
P = gemiddeld elektrisch vermogen van de installatie = 2,3 W
U = spanning van de accu = 12 V
zodat: $I = \frac{2{,}3}{12} = 0{,}192$ A
t = tijdsduur = 1 jaar = 365 · 24 h = 8760 h
zodat: $C_{tot} = 0{,}192 \cdot 8760 = 1{,}68 \cdot 10^3$ Ah
C_{accu} = capaciteit van een volledig opgeladen accu = 75 Ah
Invullen: $N = \frac{1{,}68 \cdot 10^3}{75} = 22{,}4 \Rightarrow$ er zijn dus 23 accu's nodig. [1p]

4p **22** We berekenen het vermogen P_3 van weerstand R_3 met $P_3 = U_3 \cdot I_3$ [1p] (Binas 35D1), waarin:

U_3 = spanning over R_3

In de serieschakeling EBCDE geldt: $U_{accu} = U_2 + U_3 \Rightarrow$

$\Rightarrow U_3 = U_{accu} - U_2$ (Binas 35D1), met:

U_{accu} = totale spanning over deze kring = 12,0 V

U_2 = spanning over de weerstand $R_2 = I_2 \cdot R_2$ (Binas 35D1), met:

I_2 = stroomsterkte in R_2 = 0,25 A

R_2 = 1,8 Ω

zodat: $U_2 = 0{,}25 \cdot 1{,}8 = 0{,}45$ V [1p]

zodat: $U_3 = 12{,}0 - 0{,}45 = 11{,}55$ V

I_3 = stroomsterkte in R_3

De stroomwet van Kirchhoff zegt dat in elk punt geldt dat $\Sigma I = 0$. In punt B komt de stroom uit tak FA = 0,71 A samen met de stroom uit tak EB = 0,25 A. De uitgaande stroom I_3 is dan gelijk aan 0,71 + 0,25 = 0,96 A. [1p]

Invullen: $P_3 = 11{,}55 \cdot 0{,}96 = 11$ W [1p]

3p **23** We berekenen de spanning van het zonnepaneel U_{zp} door de spanningswet van Kirchhoff toe te passen op stroomkring FABEF $\Rightarrow \sum_i U_i = 0$. [1p] Beginnend bij het zonnepaneel: $U_{zp} - U_1 + U_2 - U_{accu} = 0 \Rightarrow U_{zp} = U_1 - U_2 + U_{accu}$ [1p], waarin:

U_1 = spanning over R_1

Er geldt: $U_1 = I_1 \cdot R_1$ (Binas 35D1), met:

I_1 = stroomsterkte door R_1 = 0,71 A

R_1 = 2,6 Ω

zodat: $U_1 = 0{,}71 \cdot 2{,}6 = 1{,}85$ V

U_2 = spanning over R_2

Er geldt: $U_2 = I_2 \cdot R_2$, met:

I_2 = stroomsterkte door R_2 = 0,25 A

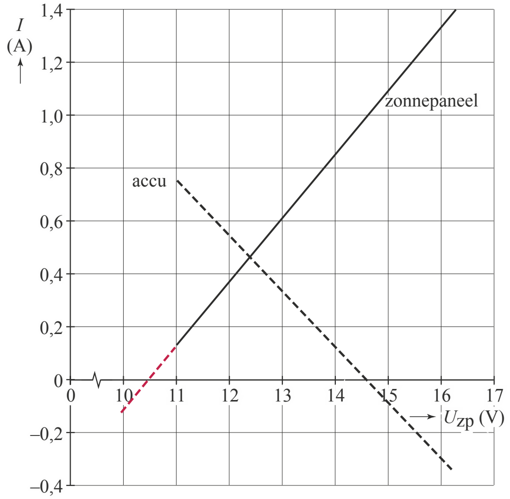
R_2 = 1,8 Ω

zodat: $U_2 = 0{,}25 \cdot 1{,}8 = 0{,}45$ V

U_{accu} = spanning over de accu = 12,0 V

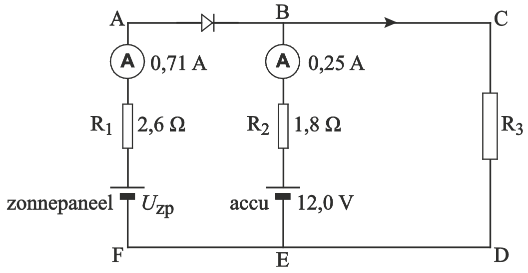
Invullen: $U_{zp} = 1{,}85 - 0{,}45 + 12{,}0 = 13{,}4$ V [1p]

3p **24**
- Bij $U_{zp} > 14{,}6$ V wordt de accu opgeladen. [1p]
  De accu wordt opgeladen als de stroom door de accu negatief is: er wordt dan immers energie toegevoerd. In de grafiek is af te lezen dat dit gebeurt bij $U_{zp} > 14{,}6$ V.
- Bij $U_{zp} < 10{,}4$ V levert de accu stroom aan het zonnepaneel. [1p]
  De accu levert stroom aan het zonnepaneel als de stroom door het zonnepaneel negatief is. Extrapolatie van de grafiek [1p] *(zie tekening 1) laat zien dat dit gebeurt bij $U_{zp} < 10{,}4$ V.*



tekening 1

2p **25** Zie tekening 2.
De diode moet zó geplaatst worden, dat de stroom wel van het zonnepaneel naar de accu kan lopen, maar niet andersom. De diode kan dan tussen de punten A en B geplaatst worden [1p]*, zodat de stroom wel van A naar B kan maar niet van B naar A.* [1p]
De diode mag ook op een andere plaats in de tak EFAB geplaatst worden, zolang de richting juist is.



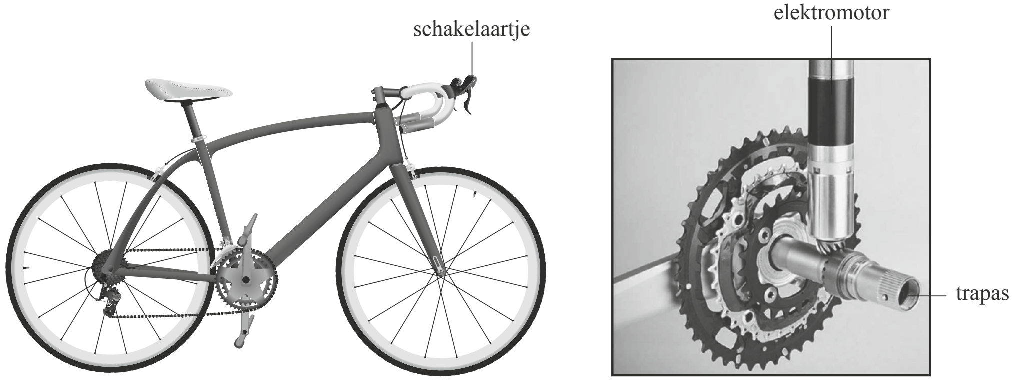
tekening 2

Examen 2018-II

Mechanische doping

Begin 2016 werd in de wielrennerij ‘mechanische doping’ ontdekt: in het frame van een racefiets zaten een elektromotortje en een accu verborgen. Zie figuur 1.

figuur 1



Het motortje is via tandwielen met de trapas verbonden. Het kan aangezet worden met een schakelaartje aan het stuur.
Het elektromotortje moet minstens een half uur lang een vermogen van 250 W leveren.
Stel dat het rendement van het elektromotortje 80% is.
In figuur 2 staat een tabel met gegevens van de accu.

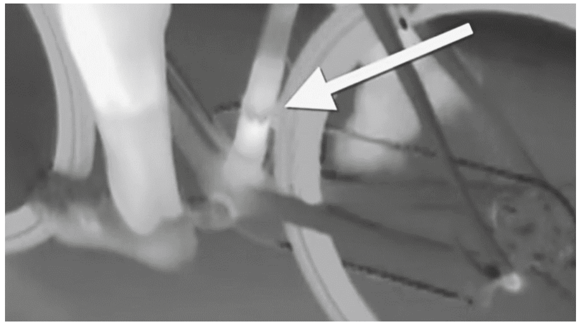
figuur 2

Accu	
Spanning per cel (V)	3,6-3,7
Energiedichtheid (Wh kg^{-1})	190
Dichtheid (10^3 kg m^{-3})	3,0

5p **1** Bereken met behulp van gegevens in de tabel het minimale volume van de accu.

Om erachter te komen wie gebruikmaakt van deze mechanische doping maakt men tijdens de race met een thermografische camera een opname. Zie figuur 3.
Daarin is bij de pijl te zien dat in het frame iets zit dat net zo warm is als de kuiten van de wielrenner.

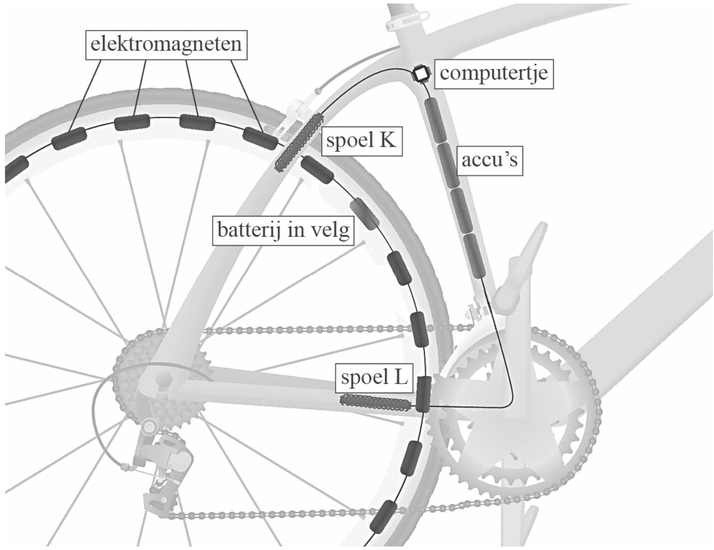
figuur 3



3p **2** Leg met behulp van een berekening en met Tabel 19B van Binas of Tabel 5.1.c van Sciencedata uit voor welke soort straling deze camera gevoelig is.

Een andere manier om sneller vooruit te komen is met behulp van elektromagneten. In de velg van een kunststof achterwiel zijn 24 elektromagneten weggewerkt. Zie figuur 4.

figuur 4



De elektromagneten staan in serie en zijn aangesloten op de batterij in de velg, die een spanning van 1,5 V levert. De batterij heeft een capaciteit van 2,3 Ah. (Dit houdt in dat de volledig opgeladen batterij gedurende 1,0 uur een stroom van 2,3 A kan leveren, of gedurende 2,0 uur een stroom van 1,15 A, enzovoort.)

De elektromagneten bestaan uit koperdraad met een diameter van 0,50 mm. In elke elektromagneet is 3,0 m koperdraad gebruikt.

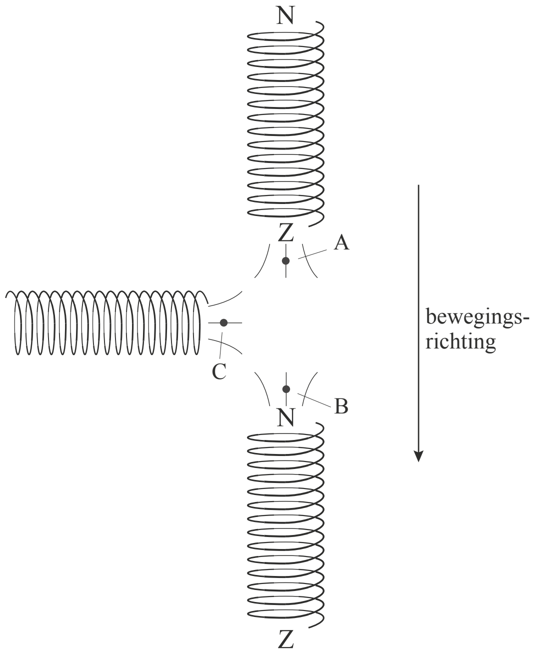
5p **3** Bereken hoe lang de elektromagneten werken op de batterij als die in het begin volledig opgeladen is. (Verwaarloos de lengte van de draden tussen de elektromagneten.)

In de buizen van het frame (zie figuur 4) zijn de spoelen K en L verborgen. Spoel K vangt het magneetveld op van de elektromagneten.
Op grond van het signaal van spoel K zorgt het computertje ervoor dat spoel L iedere keer op het juiste moment een stroomstoot krijgt, zodat de elektromagneet in de velg bij spoel L een zetje krijgt.

1p **4** Hoe heet het verschijnsel waardoor in spoel K een signaal opgewekt wordt?

In figuur 5 staan twee elektromagneten uit de velg samen met spoel L afgebeeld met de veldlijnen van de elektromagneten. De pijl rechts geeft de bewegingsrichting van de spoelen in het wiel aan.

figuur 5



4p **5** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef in figuur 5 in de punten A, B en C met een pijl de richting van de magnetische veldlijnen aan.
- Geef in figuur 5 met een pijl de stroomrichting in spoel L aan.

2p **6** Leg uit waarom de frequentie waarmee spoel L stroomstoten krijgt aangepast moet kunnen worden.

Gravitron

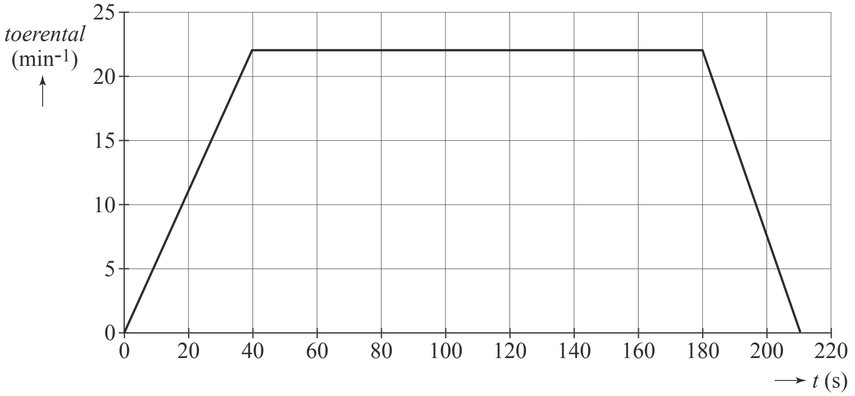
Figuur 1 toont de kermisattractie Gravitron. Hierbij nemen de passagiers plaats in een soort ton die gaat draaien. De passagiers blijven vanaf een bepaald toerental aan de wand van de ton ‘plakken’. Zie figuur 2.

figuur 1

figuur 2

In figuur 3 staat voor een rit in de Gravitron het toerental (het aantal omwentelingen per minuut) uitgezet tegen de tijd. De Gravitron heeft op de plaats waar de passagiers zich bevinden een diameter van 6,4 m.

figuur 3



Een passagier die in de Gravitron rondjes draait, legt tijdens de rit een aanzienlijke afstand af langs de cirkelbaan.

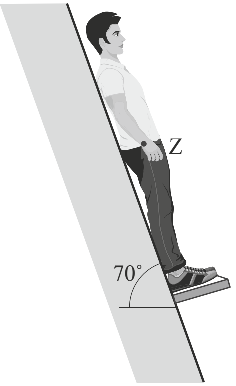
4p **7** Bepaal deze afstand met behulp van figuur 3.

In figuur 4 is schematisch een passagier getekend in de Gravitron. De passagier heeft een massa van 71 kg en ligt tegen de schuine wand van de ton.
De Gravitron staat nog stil. Om te begrijpen hoe de krachten werken, gaan we uit van het volgende model:
- De kracht van de vloer op de passagier staat evenwijdig aan de wand.
- De wrijvingskracht stellen we op nul.

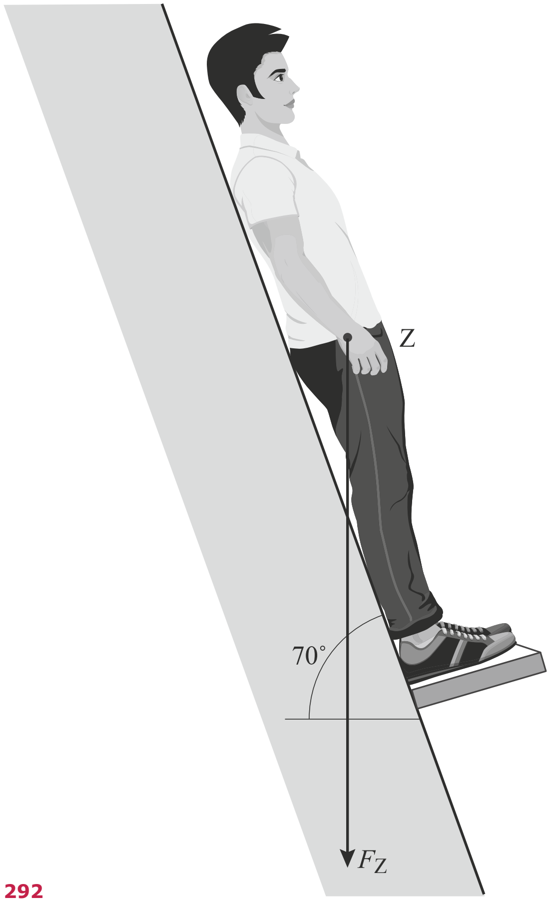
Figuur 4 staat vergroot op de uitwerkbijlage. Daarin is de zwaartekracht aangegeven met een vectorpijl. Op de passagier werken nog twee andere krachten.

4p **8** Construeer de grootte en de richting van die twee andere krachten op de passagier. Laat in de tekening de krachten aangrijpen in punt Z.

figuur 4



uitwerkbijlage bij vraag 8

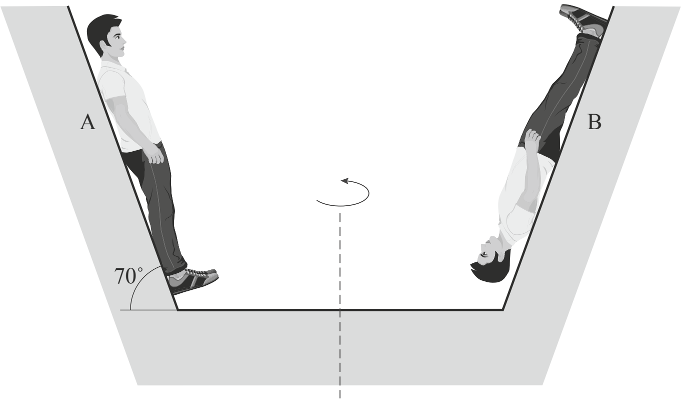


Als de Gravitron begint te draaien, verandert de normaalkracht van de wand op de passagier.

2p **9** Leg uit dat die normaalkracht groter wordt.

In werkelijkheid is er natuurlijk wel wrijvingskracht. Tijdens de rit halen veel passagiers allerlei capriolen uit tegen de wand. Zo kan een passagier ook ondersteboven tegen de wand gaan hangen. Zie figuur 5. Deze figuur is niet op schaal.

figuur 5



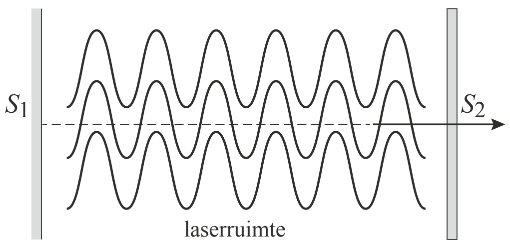
Een passagier probeert in de draaiende Gravitron zijn hoofd op te lichten van de wand met het hoofd boven (A) en met het hoofd beneden (B).

4p **10** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon aan dat bij constante omlooptijd T voor de middelpuntzoekende kracht op een voorwerp met massa m in een cirkelbaan met straal r geldt: $F_{mpz} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$.
- Leg hiermee uit in welke situatie, A of B, het meer moeite kost om het hoofd op te lichten van de wand.

Kleurstoflaser

Een laser is een lichtbron die een smalle, evenwijdige en intense lichtbundel produceert. De bundel wordt geproduceerd in de laserruimte, die zich tussen spiegel S_1 en de halfdoorlatende spiegel S_2 bevindt. Zie de artist's impression in figuur 1. In de laserruimte worden heen en weer kaatsende fotonen geproduceerd.

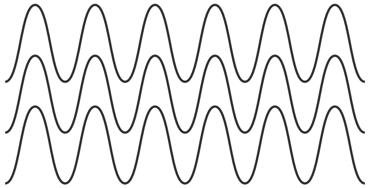
figuur 1



Bij laserwerking ontstaat een lawine van fotonen doordat reeds aanwezige fotonen aangeslagen moleculen dwingen om zelf fotonen uit te zenden.
Het oorspronkelijke foton is daarbij identiek aan het geproduceerde foton: ze hebben dezelfde fase en dezelfde golflengte. Hierdoor heeft een laser een hogere intensiteit dan een gewone lichtbron, die fotonen produceert die niet dezelfde fase hebben.
In figuren 2a en 2b zijn een aantal individuele lichtgolven geschetst van respectievelijk een gewone lichtbron en een laser.

figuur 2a

figuur 2b

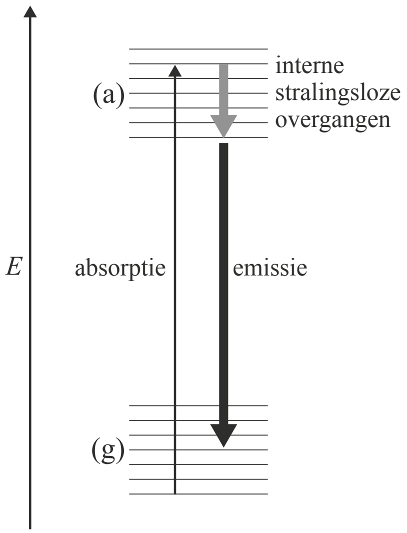


Ook als de amplitude van de individuele golven gelijk is, is de totale amplitude (en dus de intensiteit) van het laserlicht groter dan die van de gewone lichtbron.

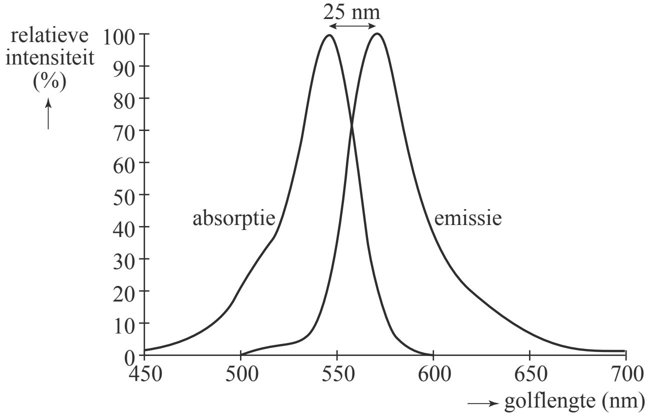
2p **11** Leg uit hoe dit komt aan de hand van de figuren 2a en 2b.

Anders dan bij gaslasers zenden vloeistoflasers een breedbandig spectrum van meer golflengtes tegelijk uit. Voor een bepaalde breedbandige vloeistoflaser wordt de kleurstof Rhodamine 6G gebruikt. Bij complexe moleculen als de kleurstof Rhodamine 6G bestaat zowel de grondtoestand (g) als de aangeslagen toestand (a) uit veel zeer dicht op elkaar gelegen energieniveaus. Zie figuur 3a.
Zo'n stof heeft daardoor geen lijnenspectrum maar een bandenspectrum. In figuur 3b is links de absorptieband en rechts de emissieband van Rhodamine 6G weergegeven. Omdat de aangeslagen moleculen eerst een gedeelte van hun energie afgeven in de vorm van warmte (interne stralingsloze overgangen), is in figuur 3b het emissiespectrum naar rechts verschoven ten opzichte van het absorptiespectrum.

figuur 3a



figuur 3b



2p **12** Leg uit waarom het emissiespectrum naar rechts verschoven is.

Een Rhodamine-6G-molecuul kan men ook beschrijven met een eenvoudig model van een eendimensionale energieput waarin 22 elektronen opgesloten zijn. Hierbij zijn een aantal energieniveaus (*n*-waarden) steeds gevuld met twee elektronen per niveau. Samen vormt dit de grondtoestand (g).
Als het molecuul door absorptie van een foton aangeslagen wordt, gaat één elektron van de hoogste bezette *n*-waarde naar de volgende *n*-waarde.

Dan geldt voor de lengte van de energieput: $L = \sqrt{\dfrac{\lambda \cdot (12^2 - 11^2) \cdot h}{8mc}}$.

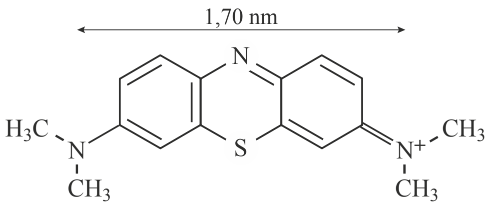
Hierin is:
- λ de golflengte die vereist is om het molecuul aan te slaan;
- h de constante van Planck;
- m de massa van een elektron;
- c de lichtsnelheid.

4p **13** Leid deze formule af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.

Figuur 4 geeft de structuur van Rhodamine 6G weer. De waarde L komt bij benadering overeen met de waarde in figuur 4.

3p **14** Toon dit aan met een berekening.

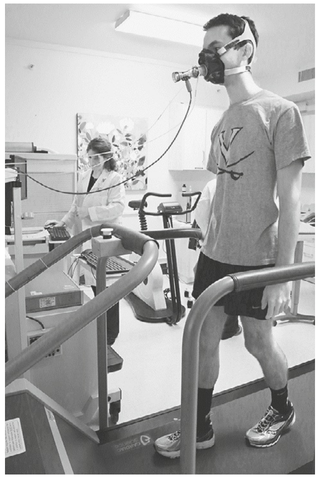
figuur 4



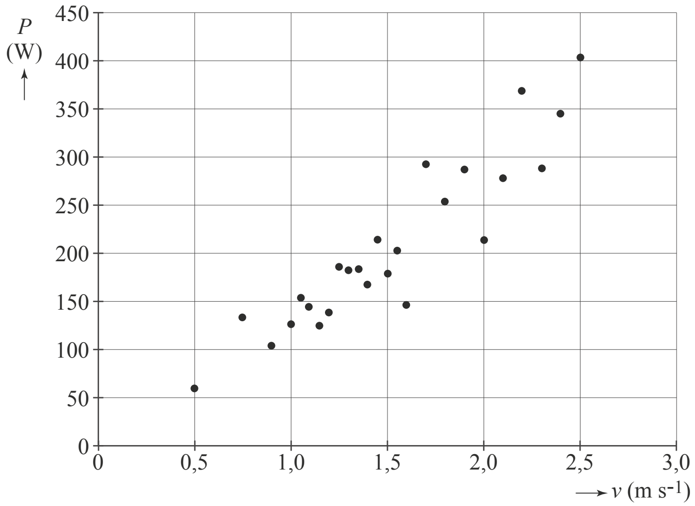
Ontspannen lopen

Daniël en Lotte willen met een eenvoudig model de loopsnelheid bepalen die energetisch het voordeligst is.
Daartoe laten ze 25 proefpersonen met elk een verschillende snelheid op een loopband lopen. Zie figuur 1.
Van elke proefpersoon wordt de massa bepaald en het vermogen dat hij levert tijdens het lopen.

figuur 1



figuur 2



De proefpersonen hebben allemaal een verschillende massa *m*, en dat heeft een storende invloed op de resultaten. Zie figuur 2. Om het effect van de massa te elimineren en daardoor de meetresultaten onderling beter te kunnen vergelijken, rekenen Lotte en Daniël alle vermogens om naar een genormaliseerd vermogen:

$$\tilde{P} = \frac{P}{m}.$$

Ze veronderstellen dat $\tilde{P}$ alleen afhangt van de snelheid.

2p **15** Leg uit of het verband tussen *P* en *m* dan recht evenredig of omgekeerd evenredig is.

Bij het lopen van volwassenen gaan Daniël en Lotte in hun eenvoudige model uit van de volgende aannames:
- er is een constant vermogen nodig om recht overeind te staan;
- de netto spierkracht die nodig is voor de voortbeweging is recht evenredig met de snelheid.

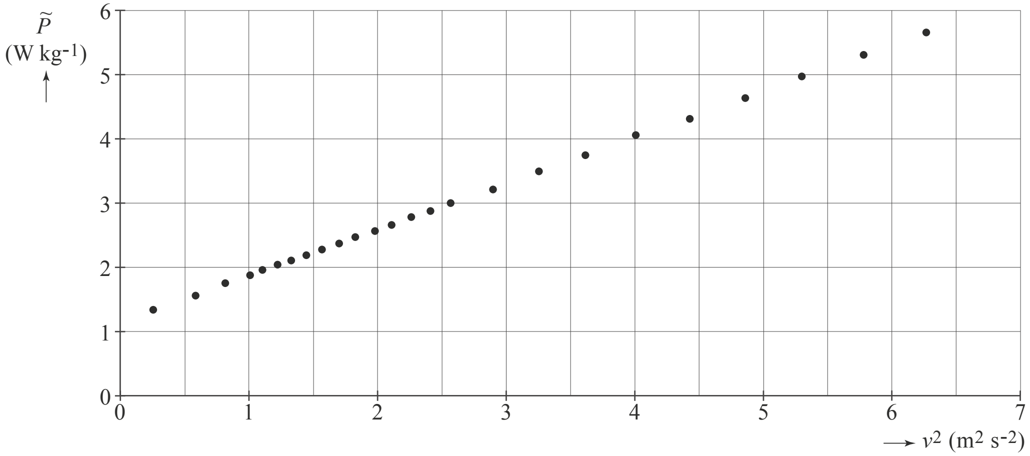
Met deze uitgangspunten volgt voor het genormaliseerde vermogen van een volwassene die met een snelheid *v* loopt, de formule:

$$\tilde{P} = pv^2 + q.$$

3p **16** Leg dit uit.

In figuur 3 staat het genormaliseerde vermogen $\tilde{P}$ van de proefpersonen uitgezet tegen v^2.

figuur 3



Om de benodigde energie te kunnen leveren, gebruiken de proefpersonen chemische energie uit voedsel. Lotte en Daniël nemen aan dat dit met een rendement van 20% gaat. Zij volgen een proefpersoon van 80 kg, die gedurende 1,0 uur loopt met een snelheid van 7,0 km h^{-1}.

5p **17** Bepaal aan de hand van figuur 3 hoeveel chemische energie deze proefpersoon daarvoor volgens het model aan voedsel moet binnenkrijgen.

Niet alleen het genormaliseerd vermogen $\tilde{P}$, maar ook de stapgrootte S blijkt af te hangen van de snelheid v.
Voor het aantal stappen per seconde geldt:

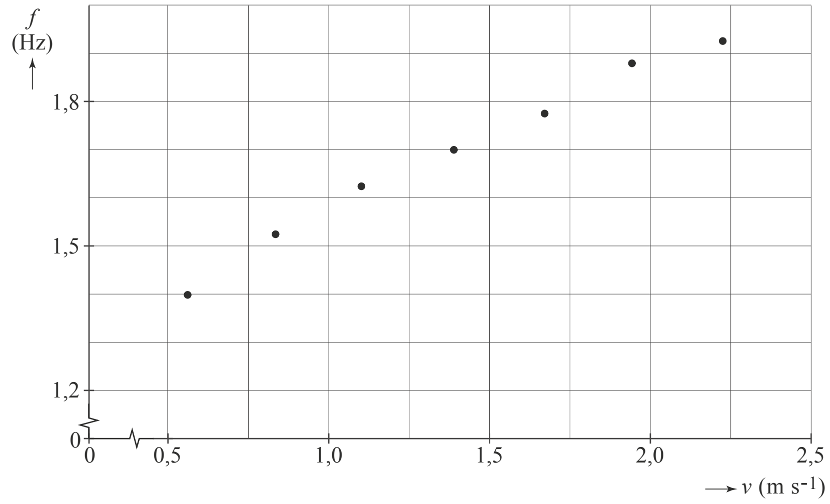
$$f = \frac{v}{S}.$$

Bewegingswetenschappers kijken bij inspanning bij lopen niet naar de geleverde **energie per seconde**, maar naar de geleverde **energie per afgelegde meter**.
Voor deze grootheid geldt de uitdrukking:

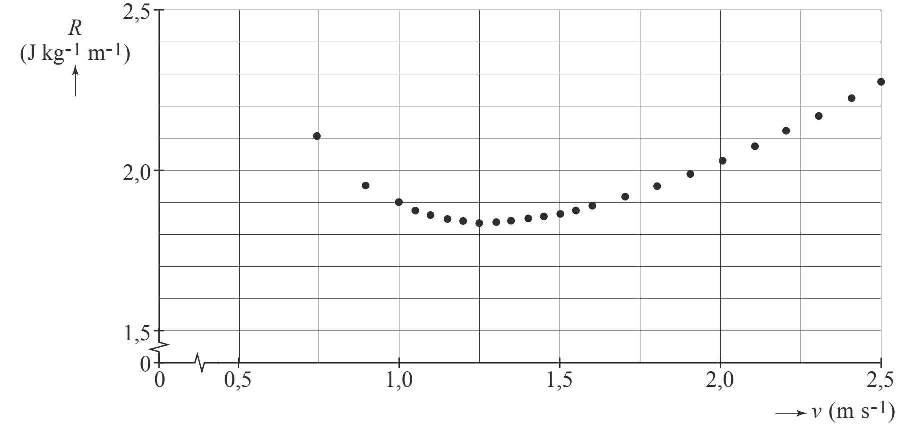
$$R = \frac{\tilde{P}}{v}.$$

De resultaten van dit model zijn weergegeven in de figuren 4a en 4b.

figuur 4a



figuur 4b



3p **18** Bepaal met behulp van de figuren 4a en 4b de optimale stapgrootte van een proefpersoon die de minimale energie per afgelegde meter R levert.

Wijnfraude opsporen

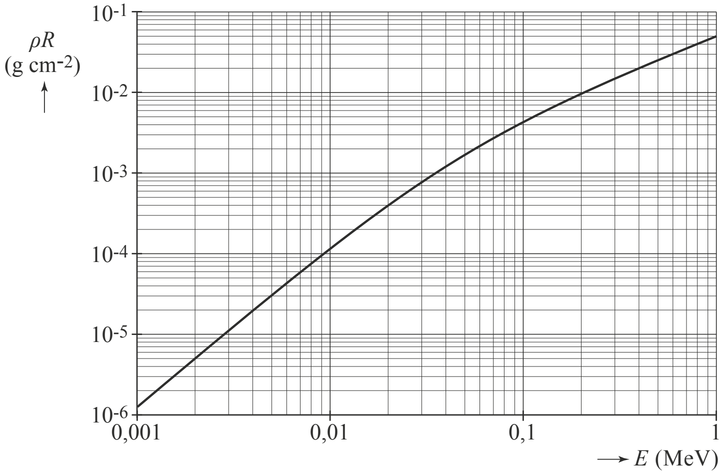
Om na te gaan of het jaartal op het etiket van een wijnfles klopt met de inhoud van de fles, zijn verschillende methodes mogelijk.
Bij **methode 1** wordt gekeken naar de activiteit van de β-straling van de isotopen in de wijn. Maar daarvoor moet de fles geopend worden.
Bij oude dure wijn wil je de fles niet openmaken. Dan kan men met **methode 2** kijken naar de γ-straling van Cs-137. Deze isotoop komt pas sinds 1950 voor in de atmosfeer ten gevolge van kernproeven. Vanaf die tijd is er Cs-137 in de wijndruiven terechtgekomen.

over methode 1
In wijn komen de radioactieve isotopen C-14, O-15 en H-3 voor. De activiteit van deze isotopen in wijn is gemeten als de wijn de fles in gaat en dus bekend. Bij een fles wijn waar op het etiket staat dat deze 5 jaar oud is, wil men uit de afname van de activiteit afleiden hoe oud deze wijn werkelijk is. Voor deze methode is alleen H-3 geschikt.

3p **19** Leg uit waarom voor deze methode alleen H-3 geschikt is, met behulp van gegevens uit het tabellenboek. Geef daartoe aan waarom de twee andere isotopen niet geschikt zijn.

In figuur 1 is het verband uitgezet van het product van de dichtheid (in g cm^{-3}) en de dracht R (in cm) tegen de energie van het β-deeltje.

figuur 1

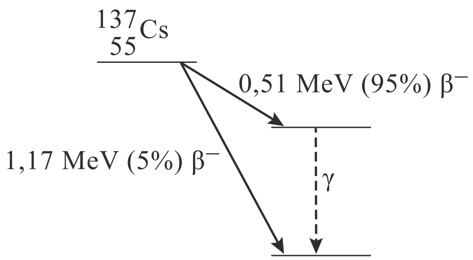


Door het glas van een wijnfles met een dikte van 3,5 mm komt geen β-straling van H-3.

4p **20** Toon dat aan met behulp van figuur 1 en een berekening van de dracht.

over methode 2
Bij de tweede methode kijkt men naar Cs-137, dat vervalt onder uitzending van β-deeltjes.
95% van de kernen van Cs-137 vervalt naar een metastabiele toestand, waarna het onder uitzending van een γ-foton de grondtoestand bereikt. Zie figuur 2.

figuur 2

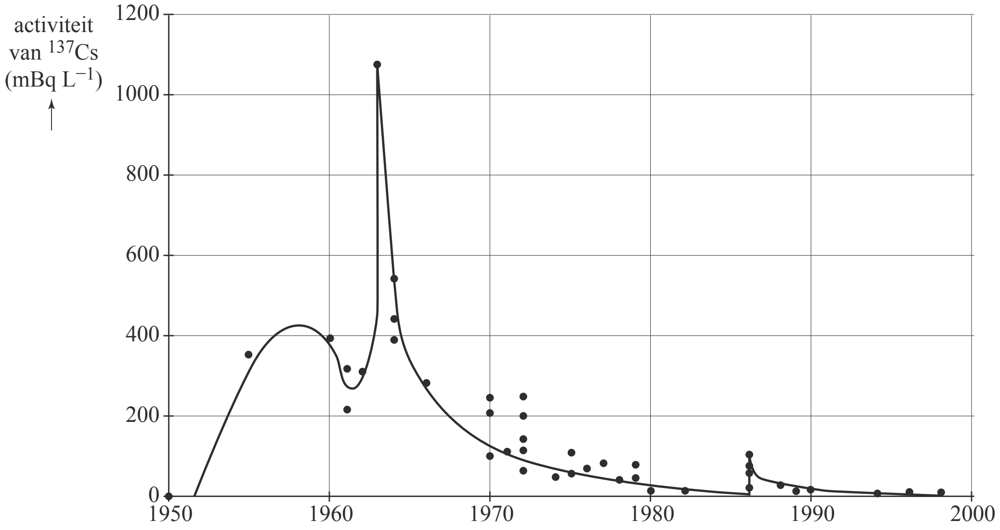


3p **21** Geef de vergelijking van het meest voorkomende verval van Cs-137 naar de grondtoestand.

3p **22** Bereken de golflengte van het γ-foton.

De activiteit van de γ-straling van een groot aantal Franse wijnen waarvan het productiejaar met zekerheid was vastgesteld, is gemeten. Om de meetwaarden te kunnen vergelijken zijn de gemeten activiteiten omgerekend alsof alles gemeten is op 1 januari 2000. Zie figuur 3.

figuur 3



Op het etiket van een wijnfles (75 cL) staat dat de wijn uit 1960 komt.
Halverwege 2018 meet men de activiteit van de γ-straling van Cs-137 van die fles wijn.

4p **23** Bepaal wat de verwachte activiteit van Cs-137 (γ-straling) van die fles wijn is als die echt uit 1960 komt.

Als bij een test van een fles wijn de omgerekende activiteit 50 mBq L^{-1} bedraagt, is niet exact vast te stellen uit welk jaar die wijn komt.
1p **24** Geef de reden waarom.

Hints bij examen 2018-II

1. Bereken eerst de energie die de accu in een half uur levert.
2. Gebruik de wet van Wien.
3. Bereken eerst de weerstand van één elektromagneet.
4. –
5. Welke elektromagneet moet worden afgestoten door spoel L?
6. Wanneer gaat er in spoel L een inductiestroom lopen?
7. Bereken eerst het totaal aantal omwentelingen tijdens de rit.
8. Er is evenwicht van krachten.
9. Welke kracht treedt op als middelpuntzoekende kracht?
10. Zie Binas 35A2.
11. Wanneer versterken golven elkaar?
12. Zie Binas 35E2.
13. Wat is de hoogste *n*-waarde in de grondtoestand?
14. Bepaal de golflengte λ uit figuur 3b.
15. Is $\tilde{P}$ afhankelijk van de massa *m*?
16. Gebruik voor de beweging: $P = F \cdot v$
17. Maak gebruik van de formule voor het rendement η.
18. Bepaal eerst de snelheid *v* waarbij de proefpersoon de minimale energie per afgelegde meter *R* levert.
19. Zoek de halveringstijden van de drie radioactieve isotopen op.
20. Zie Binas voor de energie van de vrijgekomen β-straling.
21. Wat moet er voor en na de → gelijk zijn?
22. Voor de energie van het γ-foton: zie figuur 2.
23. Zie Binas 35E3.
24. Zie figuur 3 bij een activiteit van 50 mBq L^{-1}.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2018-II

Mechanische doping

5p **1** *In de tabel is de energiedichtheid gegeven in Wh kg^{-1}. Door eerst de minimale energie van de accu te berekenen en deze te delen door de energiedichtheid, vinden we de minimale massa van de accu.*
Het minimale volume V van de accu volgt uit:

$\rho = \frac{m}{V}$ [1p] (Binas 35C1) $\Rightarrow$ $V = \frac{m}{\rho}$, waarin:

m = massa van de accu = $\frac{E_{in}}{E_d}$ [1p], met:

E_{in} = energie die de accu in een half uur levert

Er geldt: $\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}}$ $\Rightarrow$ $E_{in} = \frac{E_{nuttig}}{\eta}$ [1p] $= \frac{P \cdot t}{\eta}$ [1p] (Binas 35A4), met:

η = rendement van het elektromotortje = 0,80 (80%)
E_{nuttig} = energie die het elektromotortje in een half uur levert
P = vermogen van het elektromotortje = 250 W
t = tijdsperiode waarin dit vermogen kan worden geleverd = 0,5 h

zodat: $E_{in} = \frac{250 \cdot 0{,}5}{0{,}80} = 156$ Wh

E_d = energiedichtheid van de accu = 190 Wh kg^{-1} (zie tabel)

zodat: $m = \frac{156}{190} = 0{,}821$ kg

ρ = dichtheid van de accu = $3{,}0 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (zie tabel)

Invullen: $V = \frac{0{,}821}{3{,}0 \cdot 10^3} = 0{,}27 \cdot 10^{-3}$ m^3 [1p] (= 0,27 dm^3)

3p **2** We bepalen de golflente λ_{max} waarbij de stralingsintensiteit het grootst is:

$\lambda_{max} \cdot T = k_W$ [1p] (Binas 35E1) $\Rightarrow \lambda_{max} = \frac{k_W}{T}$, waarin:

T = temperatuur van het voorwerp in het frame = temperatuur van de kuiten van de wielrenner. Die temperatuur zal ongeveer 37 °C zijn.
Dan geldt: $T = 273 + 37 = 310$ K [1p] (Binas 35C1)
k_W = constante van Wien = $2{,}90 \cdot 10^{-3}$ m K (Binas 7A)

Invullen: $\lambda_{max} = \frac{2{,}90 \cdot 10^{-3}}{310} = 9{,}4 \cdot 10^{-6}$ m

Volgens Binas 19B is dit infrarode straling. [1p]

5p **3** De tijd t die de elektromagneten werken op de volledig opgeladen batterij volgt uit:

$C = I \cdot t \Rightarrow t = \frac{C}{I}$ [1p], waarin:

C = capaciteit van de batterij = 2,3 Ah
I = stroomsterkte in het circuit

Er geldt: $U = I \cdot R$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow I = \frac{U}{R}$, met:

U = spanning van de batterij = 1,5 V
R = totale weerstand in het circuit = $24 \cdot R_{el}$ (serieschakeling, Binas 35D1), met:
R_{el} = weerstand van één elektromagneet

Er geldt: $\rho = \frac{R_{el} \cdot A}{\ell}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $R_{el} = \frac{\rho \cdot \ell}{A}$, met:

ρ = soortelijke weerstand van koper = $17 \cdot 10^{-9}$ Ω m [1p] (Binas 8)
ℓ = lengte van de koperdraad in één elektromagneet = 3,0 m
A = doorsnede van de koperdraad = $\pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{1}{2} d\right)^2$ [1p] (Binas 36B) = $= \frac{1}{4}\pi \cdot d^2$, met:

r = straal van de doorsnede van de koperdraad
d = diameter van de koperdraad = 0,50 mm = $0{,}50 \cdot 10^{-3}$ m

zodat: $A = \frac{1}{4}\pi \cdot (0{,}50 \cdot 10^{-3})^2 = 1{,}96 \cdot 10^{-7}$ m^2

zodat: $R_{el} = \frac{17 \cdot 10^{-9} \cdot 3{,}0}{1{,}96 \cdot 10^{-7}} = 0{,}260$ Ω

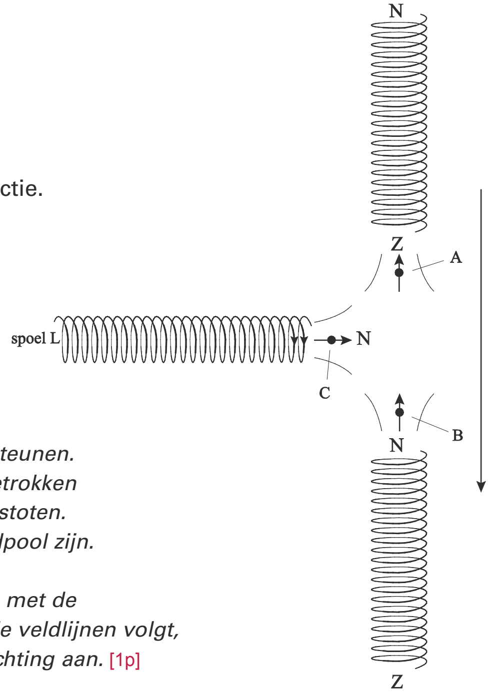
zodat: $R = 24 \cdot 0{,}260 = 6{,}24$ Ω

zodat: $I = \frac{1{,}5}{6{,}24} = 0{,}240$ A

Invullen: $t = \frac{2{,}3}{0{,}240} = 9{,}6$ h [1p]

1p **4** Dit verschijnsel heet (elektromagnetische) inductie.

4p **5** Zie de tekening.



– *De magnetische veldlijnen van de in de velg ingebouwde elektromagneten lopen buiten de elektromagneten van de noordpool naar de zuidpool.*
De richting van de veldlijnen is in de punten A en B dus omhoog. [2p]
– *Spoel L moet de beweging van het wiel ondersteunen.*
De bovenste spoel moet daarom worden aangetrokken door spoel L en de onderste moet worden afgestoten.
De rechterkant van spoel L moet dan een noordpool zijn.
De veldlijnen lopen dus naar rechts. [1p]
De richting van de stroom in spoel L vinden we met de rechterhandregel: als de duim de richting van de veldlijnen volgt, geeft de kromming van de vingers de stroomrichting aan. [1p]

2p **6** Alleen op het moment dat de ruimte tussen twee elektromagneten spoel L passeert, moet er door spoel L een stroom lopen die een magneetveld levert. [1p] Op alle andere momenten mag er geen magneetveld zijn. Als de snelheid van de fietser toe- of afneemt, moet de frequentie van de stroomstoten die L ontvangt ook toe- of afnemen. [1p] De frequentie van de stroomstoten in L moet dus aangepast kunnen worden aan de snelheid van de fietser.

Gravitron

4p **7** De afstand s die een passagier tijdens de rit aflegt, volgt uit:

$s = n \cdot omtrek$, waarin:

n = totaal aantal omwentelingen tijdens de rit
Dit aantal komt overeen met de oppervlakte onder de grafiek van figuur 3. Voor de berekening van de oppervlakte verdelen we deze in twee driehoeken en een rechthoek. Op de horizontale as is de tijd uitgezet in s.

Het grootste toerental tijdens de rit is 22 min^{-1} [1p] = $\frac{22}{60}$ s^{-1} [1p] (afgelezen in figuur 3)

Dus geldt: $n = \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot \frac{22}{60} + (180 - 40) \cdot \frac{22}{60} + \frac{1}{2} \cdot (210 - 180) \cdot \frac{22}{60} =$

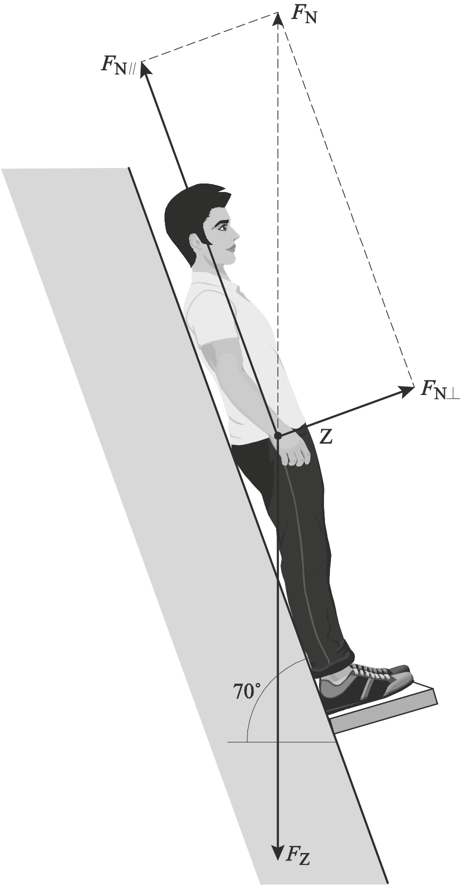
$= 7{,}33 + 51{,}33 + 5{,}50 = 64$ omwentelingen [1p]

omtrek = omtrek van de Gravitron op de plaats van de passagier = $\pi \cdot d$ [1p] (Binas 36B) = $= \pi \cdot 6{,}4 = 20{,}1$ m

Invullen: $s = 64 \cdot 20{,}1 = 1{,}3 \cdot 10^3$ m

4p **8** Zie de tekening.

De twee andere krachten zijn $F_{N//}$ en $F_{N\perp}$.
Er is evenwicht van krachten, dus de kracht F_Z wordt gecompenseerd door de kracht F_N, die even groot is als F_Z en tegengesteld gericht is aan F_Z. [2p]
Ontbind de kracht F_N in de krachten $F_{N//}$ en $F_{N\perp}$.
$F_{N//}$ is de kracht van de vloer op de passagier, de richting is schuin omhoog, evenwijdig aan de wand. [1p]
$F_{N\perp}$ is de kracht van de wand op de passagier, de richting is schuin omhoog, loodrecht op de wand. [1p]



2p **9** Als de Gravitron begint te draaien, zal de middelpuntzoekende kracht F_{mpz} op de persoon groter moeten worden om hem een cirkelbeweging te kunnen laten beschrijven:

$F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r}$ (Binas 35A2); als v groter wordt en m en r blijven gelijk, wordt F_{mpz} groter. [1p]

Deze middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de horizontale component van de normaalkracht. [1p] Als de Gravitron sneller gaat draaien, moet de normaalkracht dus groter worden.

4p **10** – Voor de middelpuntzoekende kracht F_{mpz} bij een cirkelbeweging geldt:

$F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r}$ (Binas 35A2), waarin:

m = massa van het ronddraaiende voorwerp
v = snelheid van het ronddraaiende voorwerp
r = straal van de cirkelbaan die wordt beschreven

Voor de snelheid v van het voorwerp geldt:

$v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ (Binas 35A2), waarin:

T = omlooptijd

v invullen in de formule voor F_{mpz} [1p] geeft:

$F_{mpz} = \frac{m}{r} \cdot \left(\frac{2\pi \cdot r}{T}\right)^2 = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$ [1p]

– Er geldt: $F_{mpz} = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$

De massa m en de omlooptijd T zijn voor de situaties A en B even groot.
In situatie A is de straal r van de cirkelbaan die het hoofd beschrijft groter dan in situatie B. [1p] De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} is in situatie A dus groter, waardoor het de passagier meer moeite kost om zijn hoofd op te lichten van de wand. [1p]

Kleurstoflaser

2p **11** In de laserruimte zijn alle fotonen precies hetzelfde: alle golven hebben niet alleen dezelfde golflengte en amplitude, maar ook dezelfde fase. [1p] Alle golven hebben dus een faseverschil nul. Dat is schematisch weergegeven in figuur 2b. Het gevolg is dat de golven elkaar zullen versterken ⇒ de totale amplitude wordt groot, dus ook de laserintensiteit wordt groot.
Dit wordt constructieve interferentie genoemd.
Bij een gewone lichtbron gebeurt dit niet: het faseverschil tussen de afzonderlijke golven varieert, waardoor er soms (gedeeltelijke) versterking en soms (gedeeltelijke) uitdoving optreedt (zie figuur 2a). [1p]
Als twee golven faseverschil $\frac{1}{2}$ hebben, treedt er totale uitdoving op. Men spreekt dan van destructieve interferentie.

2p **12** Voor zowel het absorptiespectrum als het emissiespectrum geldt voor de opgenomen en uitgezonden energie ΔE: $\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ (Binas 35E2), met:

h = constante van Planck
c = lichtsnelheid
λ = golflengte van het geabsorbeerde of uitgezonden foton

Bij emissie verliezen de aangeslagen moleculen een deel van hun energie aan warmte, waardoor de energieafname ΔE bij emissie kleiner is dan de energietoename ΔE bij absorptie. [1p]
Volgens de formule voor ΔE wordt bij emissie de golflengte λ dus groter ⇒
⇒ de piek van het emissiespectrum verschuift naar rechts. [1p]

4p **13** De grondtoestand van een Rhodamine-6G-molecuul, die wordt beschreven met een eendimensionale energieput, heeft 22 elektronen, zodat de grootste *n*-waarde van de grondtoestand gelijk is aan: $n = \frac{22}{2} = 11$.

Als het molecuul door absorptie van een foton wordt aangeslagen, gaat één elektron van deze hoogste *n*-waarde ($n = 11$) naar de volgende *n*-waarde ($n = 12$).
Voor de energie ΔE van het geabsorbeerde foton geldt dus: $\Delta E = E_{12} - E_{11}$ [1p]
Voor de energie E_n in de n^{de} aangeslagen toestand bij een eendimensionale energieput geldt: $E_n = \frac{n^2 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2}$ [1p] (Binas 35E4), waarin L = lengte van de energieput.
Invullen in ΔE geeft:

$$\Delta E = \frac{12^2 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} - \frac{11^2 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} = \frac{(12^2 - 11^2) \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2}$$

Ook geldt: $\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ [1p] (Binas 35E3)

Invullen: $\frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{(12^2 - 11^2) \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} \Rightarrow L^2 = \frac{\lambda \cdot (12^2 - 11^2) \cdot h}{8 \cdot m \cdot c} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{\lambda \cdot (12^2 - 11^2) \cdot h}{8 \cdot m \cdot c}}$ [1p]

3p **14** Voor de lengte van de eendimensionale energieput L geldt: $L = \sqrt{\frac{\lambda \cdot (12^2 - 11^2) \cdot h}{8 \cdot m \cdot c}}$, waarin:
- λ = golflengte van de geabsorbeerde straling = $5{,}4 \cdot 10^{-7}$ m [1p] (zie de linkerpiek in figuur 3)
- h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
- m = massa van een elektron = $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg [1p] (Binas 7B)
- c = lichtsnelheid = $3{,}00 \cdot 10^8$ m s^{-1} (Binas 7A)

Invullen: $L = \sqrt{\frac{5{,}4 \cdot 10^{-7} \cdot 23 \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-34}}{8 \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 3{,}00 \cdot 10^8}} = 1{,}9 \cdot 10^{-9}$ m = 1,9 nm [1p]

Deze waarde komt bij benadering overeen met de waarde 1,70 nm in figuur 4.
Op het examen was het ook toegestaan om:
- *de golflengte van de rechterpiek te gebruiken: $\lambda = 5{,}7 \cdot 10^{-7}$ m $\Rightarrow L = 2{,}0$ nm*
- *de gemiddelde golflengte van de twee pieken te gebruiken: $\lambda = 5{,}6 \cdot 10^{-7}$ m $\Rightarrow$ $\Rightarrow L = 2{,}0$ nm*

Ontspannen lopen

2p **15** Voor het genormaliseerde vermogen $\tilde{P}$ geldt: $\tilde{P} = \frac{P}{m}$.

$\tilde{P}$ is dus het geleverde vermogen P per kg.
$\tilde{P}$ hangt dus niet af van de massa m van de persoon. [1p]
$P = \tilde{P} \cdot m \Rightarrow$ het geleverde vermogen P is recht evenredig met de massa m. [1p]

3p **16** Voor het genormaliseerde vermogen $\tilde{P}$ geldt:
$\tilde{P} = P_{bew} + P_{staan}$ [1p], waarin:
P_{bew} = vermogen dat nodig is voor het lopen
Er geldt: $P_{bew} = F \cdot v$ [1p] (Binas 35A4), met:
F = netto spierkracht, nodig voor de voortbeweging
v = snelheid
Volgens de tweede aanname is F recht evenredig met v:
$F = constante \cdot v = p \cdot v \Rightarrow P_{bew} = F \cdot v = p \cdot v \cdot v = p \cdot v^2$
P_{staan} = vermogen dat nodig is om recht overeind te staan. Volgens de eerste aanname hangt P_{staan} niet af van de snelheid, dus $P_{staan} = constant = q$
Invullen: $\tilde{P} = p \cdot v^2 + q$ [1p]

5p **17** Voor de benodigde hoeveelheid chemische energie E_{chem} geldt:
$\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{chem}}$ (Binas 35A4) $\Rightarrow E_{chem} = \frac{E_{nuttig}}{\eta} = \frac{P_{nuttig} \cdot t}{\eta}$ [1p] (Binas 35A4) $= \frac{m \cdot \tilde{P} \cdot t}{\eta}$ [1p], waarin:
- E_{nuttig} = nuttig verbruikte energie
- η = rendement = 0,20 (20%)
- P_{nuttig} = nuttig verbruikt vermogen
- t = tijd = 1,0 uur = 3600 s
- m = massa van de proefpersoon
- $\tilde{P}$ = genormaliseerd nuttig vermogen van de proefpersoon

We bepalen $\tilde{P}$ met de grafiek in figuur 3.
Bij $v = 7{,}0$ km h^{-1} = $\frac{7{,}0 \cdot 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}}$ = 1,94 m s^{-1} is $v^2 = (1{,}94)^2 = 3{,}78$ m^2 s^{-2} [1p]
Aflezen in figuur 3 geeft: $\tilde{P} = 3{,}90$ W kg^{-1} [1p]

Invullen: $E_{chem} = \frac{80 \cdot 3{,}90 \cdot 3600}{0{,}20} = 5{,}6 \cdot 10^6$ J [1p]

3p **18** Voor de optimale stapgrootte S geldt: $f = \frac{v}{S} \Rightarrow S = \frac{v}{f}$ [1p], waarin:
- v = snelheid waarbij de proefpersoon de minimale energie per afgelegde meter R levert. Dat is het geval bij $v = 1{,}25$ m s^{-1} (afgelezen in figuur 4b)
- f = aantal stappen per seconde bij de snelheid $v = 1{,}25$ m s^{-1}

In figuur 4a lezen we af: $f = 1{,}65$ Hz [1p]

Invullen: $S = \frac{1{,}25}{1{,}65} = 0{,}76$ m [1p]

Wijnfraude opsporen

3p **19** Zie Binas 25A.
De halveringstijd $t_{\frac{1}{2}}$ van C-14 is 5730 y.
Deze tijd is zo lang, dat er na 5 jaar geen meetbare verandering in de activiteit van C-14 zal worden gemeten. [1p]
De halveringstijd $t_{\frac{1}{2}}$ van O-15 is 122 s.
Deze tijd is zo kort, dat er na 5 jaar geen enkele activiteit van O-15 meer zal worden gemeten. [1p]
De halveringstijd $t_{\frac{1}{2}}$ van H-3 is 12,3 y.
Na 5 jaar zal er zeker een merkbare afname van de activiteit van H-3 worden gemeten.
Alleen H-3 is dus geschikt voor deze methode. [1p]

4p **20** *Op de verticale as van de grafiek in figuur 1 staat de grootheid $\rho \cdot R$ uitgezet. Dat is het product van de dichtheid ρ en de dracht R. Om R te berekenen moeten we de afgelezen waarde dus delen door ρ.*
We bepalen de dracht R van de β-straling in glas met:

$$R = \frac{(\rho \cdot R)_{glas}}{\rho_{glas}}$$

Bij een energie van 0,018 MeV [1p] van de β-straling (Binas 25A) lezen we in figuur 1 af:
$(\rho \cdot R)_{glas} = 4 \cdot 10^{-4}$ g cm^{-2} [1p]
$\rho_{glas} = 2{,}5 \cdot 10^3$ kg m^{-3} [1p] (Binas 10A) $= \frac{2{,}5 \cdot 10^6 \text{ g}}{10^6 \text{ cm}^3} = 2{,}5$ g cm^{-3} (minimale waarde)
Invullen: $R = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{2{,}5} = 1{,}6 \cdot 10^{-4}$ cm
Deze waarde is veel kleiner dan de dikte van het glas (0,35 cm), dus er komt geen β-straling door het glas. [1p]

3p **21** $^{137}_{55}Cs \rightarrow\ ^{137}_{56}Ba + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\gamma$

- *β^--straling bestaat uit elektronen, aangegeven met $^{0}_{-1}e$*
- *Links en rechts van de → is de som van de atoomnummers gelijk, dus het atoomnummer van het element dat ontstaat is 55 – (–1) = 56.*
  Dit is het element Ba [1p] *(Binas 25A of 99).*
- *Links en rechts van de → is de som van de massagetallen gelijk, dus het massagetal van Ba is 137 – 0 = 137.* [1p]
- *Bij het verval komt γ-straling vrij.* [1p]

3p **22** De golflengte λ van het γ-foton dat vrijkomt, berekenen we met:

$E_f = \dfrac{h \cdot c}{\lambda}$ [1p] (Binas 35E2) $\Rightarrow \lambda = \dfrac{h \cdot c}{E_f}$, waarin:

E_f = energie van het γ-foton = (1,17 – 0,51) MeV [1p] (zie figuur 2) = 0,66 MeV =
= $0{,}66 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J (Binas 5) = $1{,}06 \cdot 10^{-13}$ J
h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
c = lichtsnelheid = $3{,}00 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)

Invullen: $\lambda = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}{1{,}06 \cdot 10^{-13}} = 1{,}9 \cdot 10^{-12}$ m [1p]

4p **23** De verwachte activiteit per liter wijn berekenen we met:

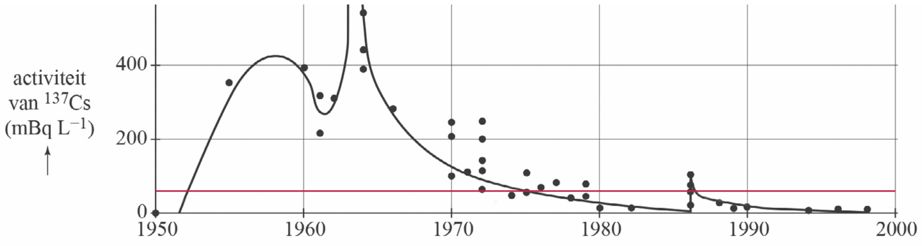
$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$ [1p] (Binas 35E3), waarin:

A_0 = activiteit per liter wijn in 1960 = 400 mBq L^{-1} [1p] (afgelezen in figuur 3)
t = tijd tussen 2000 en halverwege 2018. Dat is 18,5 y.
$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd van Cs-137 = 30 y [1p] (Binas 25A)

Invullen: $A = 400 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{18{,}5}{30}} = 2{,}6 \cdot 10^{2}$ mBq L^{-1}

De inhoud van de fles is 75 cL = 75 · 0,01 L = 0,75 L
De verwachte activiteit is dus: $0{,}75 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{2} = 2{,}0 \cdot 10^{2}$ mBq [1p] (= 0,20 Bq)

1p **24** Zie de tekening.



De omgerekende activiteit van 50 mBq L^{-1} is in de tekening weergegeven als een horizontale rode lijn. Deze lijn heeft verschillende snijpunten met de grafiek. De omgerekende activiteit was dus in verschillende jaren gelijk aan 50 mBq L^{-1} [1p], waardoor niet exact is vast te stellen uit welk jaar die wijn komt.

©ThiemeMeulenhoff

Examen 2019-I

Dafne Schippers tegen Ireen Wüst

Het zou kunnen dat hardloopster Dafne Schippers schaatsster Ireen Wüst uit zou dagen voor een wedstrijd over 100 meter: Schippers op de atletiekbaan, Wüst op schaatsen op het ijs. Twee totaal verschillende manieren om snelheid te maken met ongeveer dezelfde eindtijd. Zie figuren 1 en 2.

figuur 1

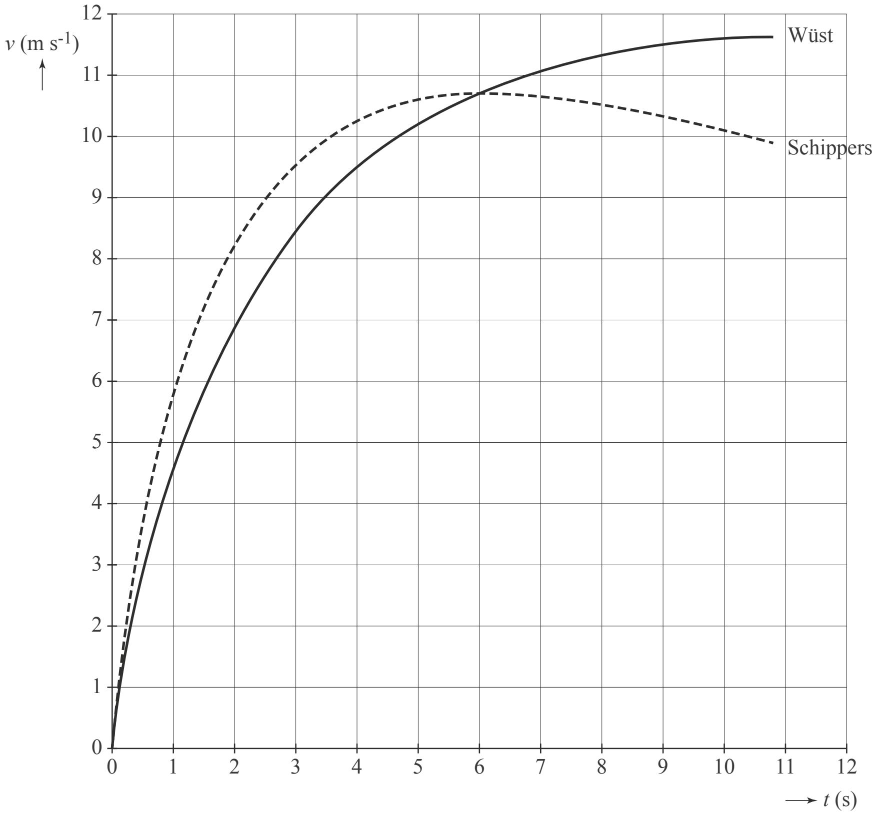
figuur 2

De tijden die ze nodig hebben voor 100 m liggen dicht bij elkaar: het record van Schippers staat op 10,81 s en de snelste tussentijd van Wüst op 100 m is 10,87 s.

2p **1** Bereken het verschil in gemiddelde snelheid.

In figuur 3 zie je het verloop van de snelheden van beide atleten over de 100 m.

figuur 3

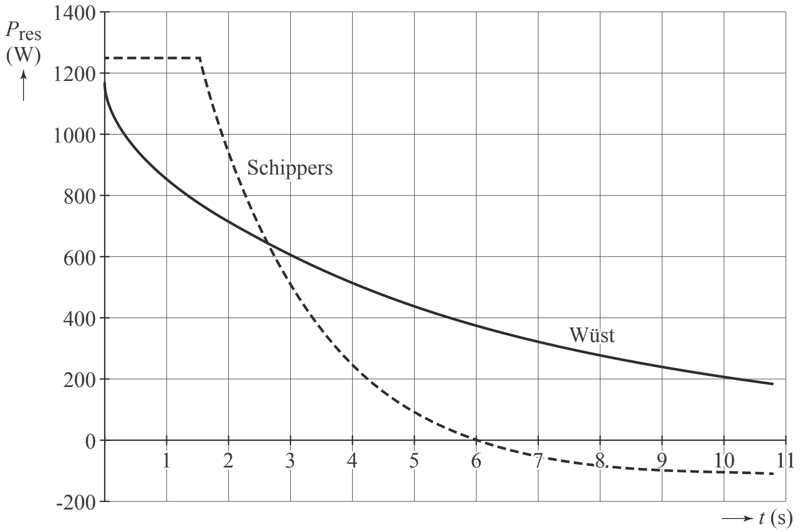


3p **2** Bepaal met behulp van figuur 3 de versnelling bij de start van hardloopster Schippers die uit de figuur volgt.

3p **3** Voer de volgende opdrachten uit, gebruikmakend van figuur 3:
- Geef aan op welk tijdstip de afstand tussen hardloopster Schippers en schaatsster Wüst maximaal is.
- Geef een toelichting hierbij.
- Geef aan hoe deze maximale afstand bepaald kan worden. (De bepaling hoeft niet uitgevoerd te worden.)

Van de sprint van beide atleten is een vereenvoudigd model gemaakt. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de massa's van beide atleten gelijk zijn. Volgens het model ligt het verschil tussen Wüst en Schippers met name in het resulterend vermogen (netto vermogen) P_{res}. In figuur 4 staat voor beide atleten P_{res} als functie van de tijd weergegeven.

figuur 4



Uit het diagram is af te lezen dat voor Schippers geldt:
$P_{res} < 0$ voor $t > 6{,}0$ s.

2p **4** Leg uit dat dit overeenkomt met het diagram in figuur 3.

In het vereenvoudigd model wordt aangenomen, dat op t = 6,0 s de beide atleten een gelijk voortstuwend vermogen leveren.
Toch is P_{res} op dat moment bij hardlopen kleiner dan bij schaatsen.

2p **5** Leg uit welke conclusie je hieruit kunt trekken over de wrijvingskrachten bij schaatsen en hardlopen.

3p **6** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg **met behulp van figuur 4** uit in welke race de grootste resulterende arbeid wordt geleverd.
- Leg **met behulp van figuur 3** en de relatie tussen arbeid en kinetische energie uit in welke race de grootste resulterende arbeid wordt geleverd.

PET samen met CLI

Lees onderstaand artikel.

Bij een PET-scan wordt een positron uitgezonden door een radioactieve isotoop. Na korte tijd annihileert zo'n positron met een elektron, waarbij in twee tegenovergestelde richtingen fotonen vrijkomen, die geregistreerd worden. Zie figuur 1 voor een PET-scanapparaat.

figuur 1

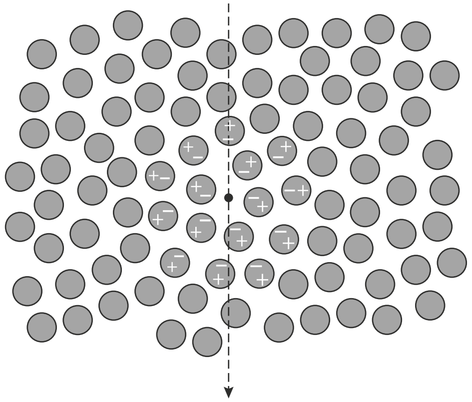
Vóórdat de annihilatie plaatsvindt, bewegen de positronen met hoge snelheid door het lichaam van de patiënt. In stoffen zoals water en lichaamsweefsel is de lichtsnelheid kleiner dan de lichtsnelheid in vacuüm. Als de snelheid van een positron groter is dan de lichtsnelheid in het lichaam (0,70*c* met *c* de lichtsnelheid) dan produceert het een blauwachtig licht, Cerenkov-straling genoemd (ook wel gespeld als Cherenkovstraling of Tjerenkov-straling) dat door gevoelige camera's wordt gedetecteerd. Deze recente techniek wordt CLI (Cerenkov Luminescence Imaging) genoemd. De technieken PET en CLI kunnen gecombineerd worden tot één nieuw systeem van medische beeldvorming: PET samen met CLI.

Kankercellen nemen meer glucose op dan gewone cellen. Om een beeld van kankercellen te vormen, worden radioactieve isotopen ingebouwd in moleculen die sterk op glucose lijken. Een veelgebruikte isotoop is F-18, dat vervalt onder uitzending van een positron.

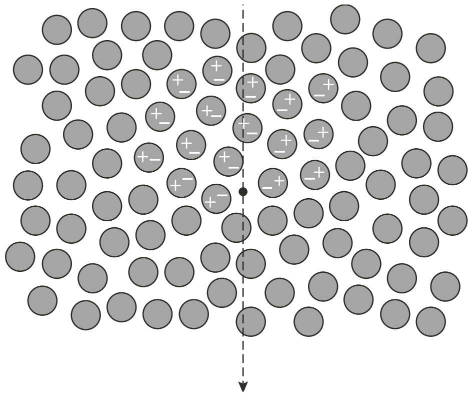
2p **7** Geef de vervalvergelijking van F-18.

Cerenkov-straling
Als een geladen deeltje met een snelheid door lichaamsvocht beweegt, richten de omringende watermoleculen zich ten gevolge van de lading. Dit is weergegeven in de figuren 2a en 2b. De punt geeft de plaats van het deeltje aan. De pijl geeft de bewegingsrichting aan.

figuur 2a
$v < 0{,}70c$



figuur 2b
$v > 0{,}70c$



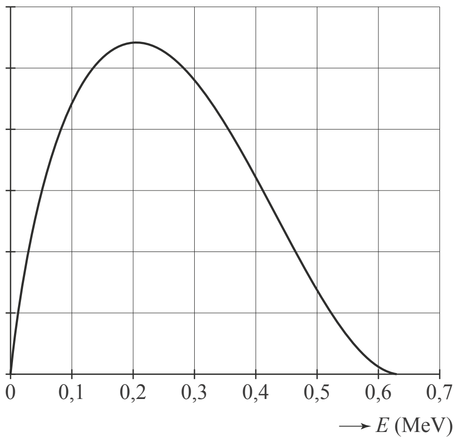
1p **8** Hoe blijkt uit figuur 2 dat het geladen deeltje een positron is en geen elektron?

Het effect van de bewegende lading op de omringende watermoleculen wordt doorgegeven met de snelheid van het licht in weefsel, dus met 0,70*c*.
Een netto elektrisch veld ontstaat door alle gerichte watermoleculen samen. Een veranderend netto elektrisch veld produceert elektromagnetische straling.
Alleen als een geladen deeltje met een grotere snelheid dan 0,70*c* door het weefsel beweegt, is er sprake van een veranderend netto elektrisch veld en wordt er straling uitgezonden, de zogenaamde Cerenkov-straling.

3p **9** Beantwoord de volgende vragen:
- Geef aan hoe uit figuur 2a blijkt dat hier het netto elektrisch veld gelijk is aan nul.
- Geef aan hoe uit figuur 2b blijkt dat hier het netto elektrisch veld ongelijk is aan nul.
- Geef aan hoe het komt dat het netto elektrisch veld in de situatie van figuur 2b zich verplaatst.

Bij elk β⁺-verval gaat een deel van de vrijkomende energie naar een neutraal en vrijwel massaloos deeltje (een neutrino) dat ook vrijkomt. Als gevolg hiervan hebben niet alle uitgezonden positronen dezelfde energie. Bij een snelheid in de buurt van de lichtsnelheid moet gerekend worden met de relativiteitstheorie. Volgens de relativiteitstheorie hebben positronen met een snelheid van 0,70*c* een kinetische energie E_k = 0,205 MeV.
In figuur 3 staat de verdeling van de door F-18 uitgezonden positronen als functie van hun kinetische energie.

figuur 3



De oppervlakte onder de grafiek is een maat voor het aantal positronen, zodat de totale oppervlakte overeenkomt met 100% van de positronen.

Hieronder staan drie schattingen van het percentage positronen dat direct na uitzending bijdraagt aan Cerenkov-straling in het weefsel.

a 40%
b 50%
c 60%

2p **10** Leg uit welke schatting de beste is.

plaatsbepaling

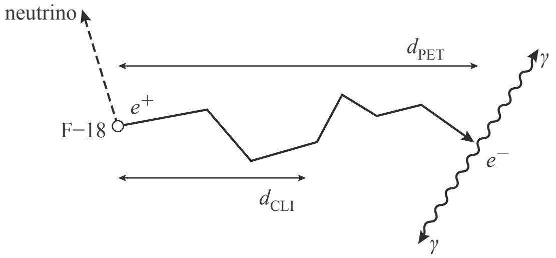
Het continue spectrum van Cerenkov-straling bestaat voor een groot deel uit blauwachtig, zichtbaar licht met een lage intensiteit. Deze straling kan inwendig in het lichaam of uitwendig gemeten worden. Bij een uitwendige meting gelden de volgende voorwaarden:

a De omgeving is donker.
b De te bestuderen tumoren bevinden zich direct onder het huidoppervlak.

2p **11** Geef voor elk van beide voorwaarden aan waarom die noodzakelijk is.

Met een geautomatiseerd systeem voor medische beeldvorming kan men uit de intensiteit en richting van de straling de plaats van de stralingsbron reconstrueren.
De nauwkeurigheid hiervan wordt bepaald door het natuurkundige proces dat de straling veroorzaakt. Positronen die door een F-18-kern worden uitgezonden, geven hun kinetische energie af door interacties met moleculen van het weefsel, vandaar een kronkelige route. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4.

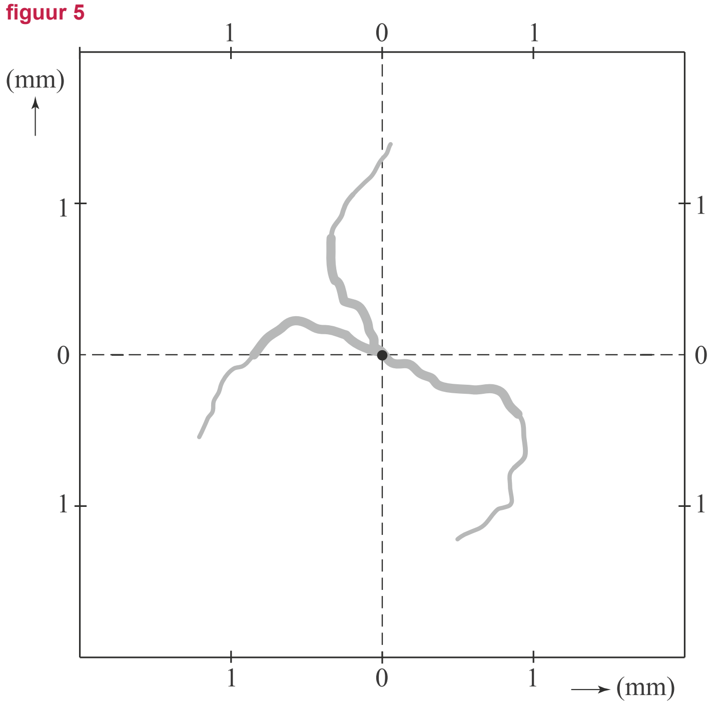
figuur 4



d_{CLI} = de afstand die het positron overbrugt terwijl het Cerenkov-straling uitzendt
d_{PET} = de afstand die het positron overbrugt tot het annihileert

In figuur 5 is een simulatie weergegeven van het verval van drie F-18-kernen. De figuur toont de mogelijke positronsporen door het lichaamsweefsel. De F-18-kern is steeds in de oorsprong geplaatst. Een dik spoor geeft aan dat er Cerenkov-straling wordt uitgezonden.

figuur 5



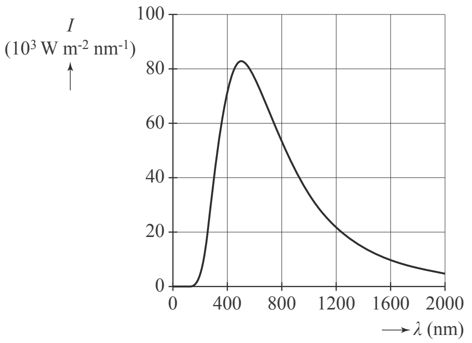
3p **12** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit waarom $d_{CLI} < d_{PET}$.
- Geef met behulp van de figuren 4 en 5 een schatting van d_{PET}.

2p **13** Leg uit waarom de CLI-meting tot een nauwkeurigere plaatsbepaling komt dan de PET-meting.

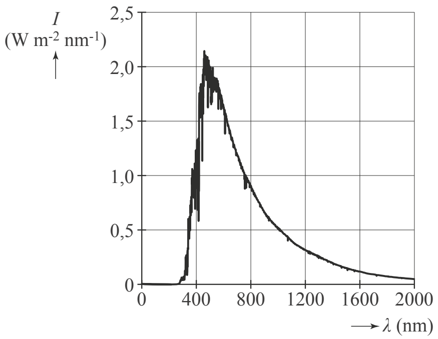
In de zon

De buitenste gebieden van de zon hebben een temperatuur van $5{,}78 \cdot 10^3$ K. Bij deze temperatuur hoort de planck-kromme van het oppervlak van de zon die is weergegeven in figuur 1. In figuur 2 staat het spectrum van het zonlicht weergegeven, gemeten net buiten de aardatmosfeer.

figuur 1



figuur 2

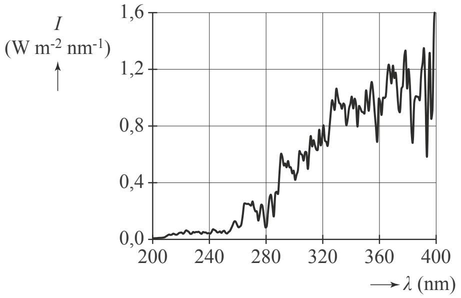


Het grote verschil in de maximale intensiteit van de twee spectra kan ongeveer verklaard worden met behulp van de kwadratenwet.

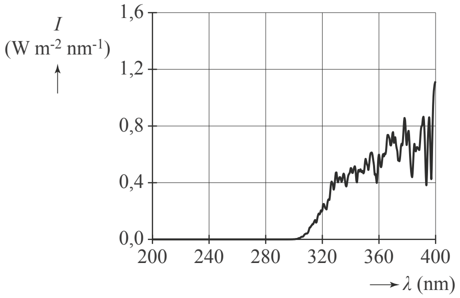
4p **14** Laat dit zien met een bepaling.

Figuur 3 geeft het uv-spectrum (ultraviolet) buiten de dampkring.
Figuur 4 geeft het uv-spectrum bij het aardoppervlak midden op een heldere dag rond 21 juni.

figuur 3



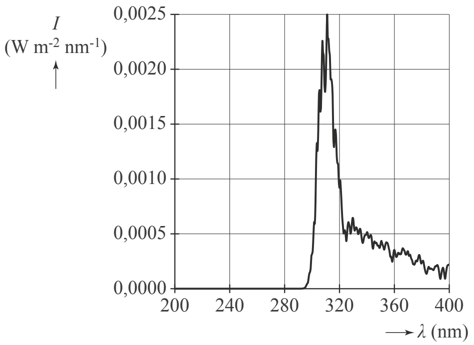
figuur 4



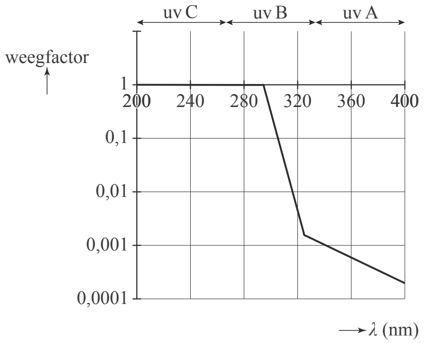
Figuur 5 geeft de intensiteitsverdeling van het 'biologisch effectieve uv-spectrum'. Dat is het uv-spectrum van het zonlicht gewogen met de mate waarin de straling schadelijk is voor de onbeschermde menselijke huid. Figuur 5 geldt voor uv bij het aardoppervlak midden op een heldere dag rond 21 juni.

Uv-straling van de zon kan schadelijk zijn voor de huid. Er bestaan drie typen van uv-straling: uv-C, uv-B en uv-A. De mate waarin de drie typen schadelijk zijn voor de huid wordt weergegeven met een weegfactor. In figuur 6 zijn deze weegfactoren weergegeven.

figuur 5



figuur 6

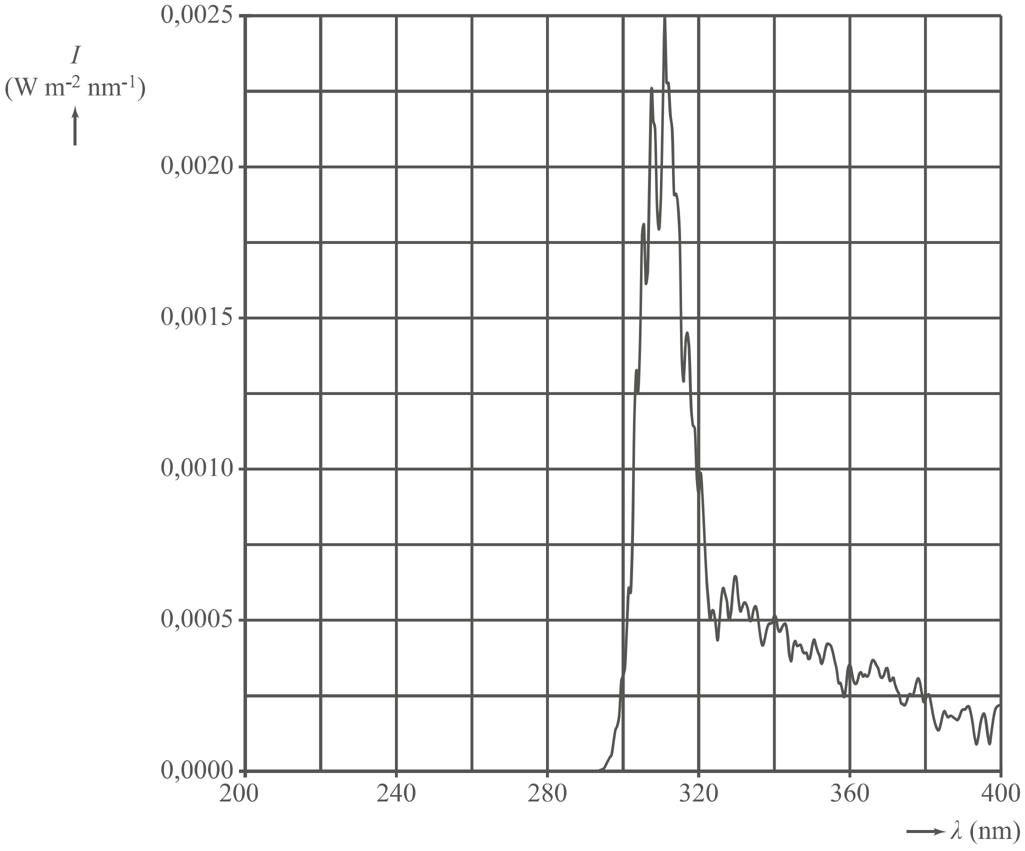


2p **15** Geef aan waarom uv-C en uv-A nauwelijks of geen bijdrage leveren in het biologisch effectieve uv-spectrum van figuur 5.

Voor veilige blootstelling van een gevoelige menselijke huid aan uv-licht geldt een bovengrens van 80 J m^{-2}.
Figuur 5 staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

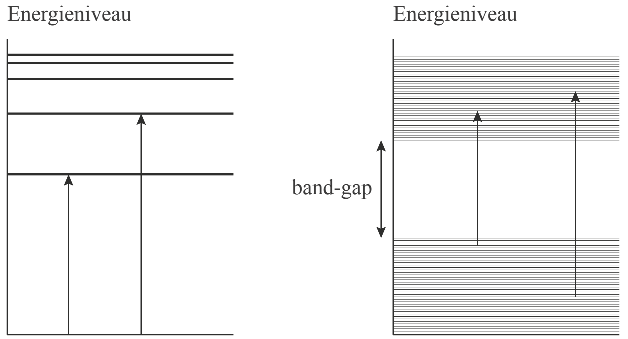
4p **16** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de tijd in minuten die een persoon met zo'n huid zich volgens deze grens kan blootstellen aan de zon midden op een heldere dag rond 21 juni.

uitwerkbijlage bij vraag 16



Om veilig gedurende een langere tijd in de zon te kunnen liggen, kan men zonnebrandcrème op de huid smeren. In zonnebrandcrème zit een stof die fotonen met een bepaalde energie kan absorberen. Deze energie moet overeenkomen met een sprong in het energieniveauschema van de stof.
In figuur 7 staan twee typen energieniveauschema's weergegeven. De linker figuur kent discrete niveaus. De rechterfiguur kent twee groepen met zeer veel energieniveaus dicht op elkaar met daartussen een sprong, de zogenaamde 'band-gap'.

figuur 7



Een stof met een band-gap is beter geschikt voor zonnebrandcrème dan een stof met een discreet energieniveauschema.

2p **17** Leg uit waarom.

Voor een goede zonnebrandcrème gelden twee specificaties:
- De crème absorbeert het uv-B.
- De crème absorbeert geen zichtbaar licht.

In tabel 1 staan drie stoffen met een band-gap gegeven die in zonnebrandcrème verwerkt kunnen worden. De stoffen worden in de vorm van nanodeeltjes toegevoegd aan de crème.

tabel 1

stof	band-gap-energie (eV)
galliumoxide Ga_2O_3	4,4
titaandioxide TiO_2	3,3
zilveroxide Ag_2O	1,5

Slechts een van de stoffen in tabel 1 is geschikt als werkend bestanddeel in zonnebrandcrème.

5p **18** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit, onder andere met een berekening, welke stof dat is.
- Leg uit waarom de andere twee stoffen niet geschikt zijn.

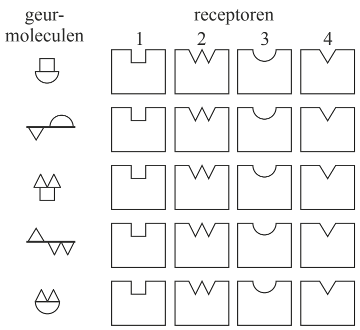
Ruiken

Als een mens iets ruikt, betekent dat dat een geurmolecuul in de neus gedetecteerd wordt door een geur-receptor. Ieder mens heeft ongeveer 350 verschillende geur-receptoren en kan ongeveer 10.000 verschillende geuren onderscheiden. Om de werking te verklaren zijn twee modellen in omloop: het sleutel-slot-model en het Turin-model.

In figuur 1 is te zien hoe het sleutel-slot-model werkt. Als een geurmolecuul op verschillende plaatsen in de receptor past, wordt door een combinatie van die mogelijkheden de geur van dat molecuul waargenomen.

Er zijn moleculen die erg van elkaar verschillen en toch dezelfde geur hebben, en er zijn moleculen die bijna gelijk zijn, maar een verschillende geur hebben. Zie de voorbeelden in figuur 2.

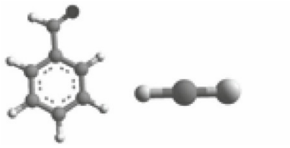
figuur 1



sleutel-slot-model

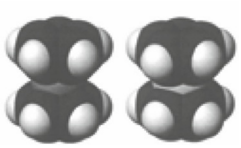
Toelichting: In de bovenste receptor past het geurmolecuul op de plaatsen 1 en 3.

figuur 2a



ruiken hetzelfde
benzaldehyde en waterstofcyanide
(amandelgeur)

figuur 2b

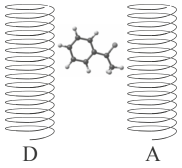


ruiken verschillend
ferroceen en nikkeloceen

1p **19** Geef aan voor een van de twee voorbeelden in figuur 2 waarom voor deze moleculen het sleutel-slot-model niet voldoet.

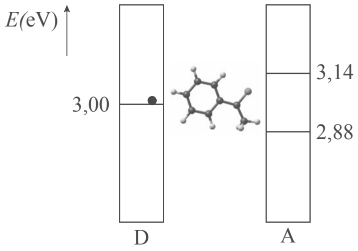
Omdat het sleutel-slot-model niet voldeed, kwam de Franse onderzoeker Luca Turin in 1996 met een nieuw model.
In het model van Turin bestaat een geur-receptor uit twee delen: de donor D en de acceptor A. Zie figuur 3 en figuur 4.

figuur 3



geur-receptor

figuur 4



Als een elektron van donor D via een geurmolecuul naar acceptor A beweegt, wordt er bij A een signaal afgegeven dat naar de hersenen gaat, waardoor het geurmolecuul wordt waargenomen. Het model van Turin is een combinatie van quantum-tunneling en energieoverdracht. Zie figuur 4 voor een schematische weergave. In figuur 4 bevindt zich een elektron in donor D in het aangegeven energieniveau. Van acceptor A zijn twee energieniveaus weergegeven. Zonder geurmolecuul kan het elektron niet van D naar A gaan. Als een geurmolecuul dat past bij de receptor tussen D en A zit, kan dit geurmolecuul energie opnemen van het elektron zodat het elektron wel van D naar A kan komen.

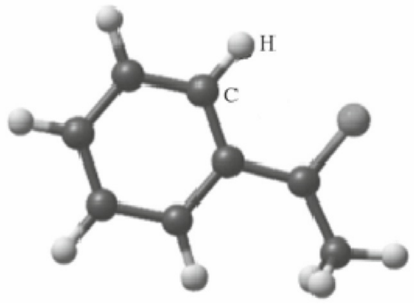
2p **20** Leg uit in welke van de twee energieniveaus van A het elektron dan komt.

Een voorbeeld van een geurmolecuul is acetofenon. Zie figuur 5.
De energie-uitwisseling met het geurmolecuul kan in een vereenvoudigd model worden beschreven. In dit vereenvoudigd model wordt elke C – H -binding van het geurmolecuul beschouwd als een (quantumfysisch) massa-veersysteem. Zie figuur 6 voor de energieput met de discrete energieniveaus van dit massa-veersysteem voor een van de C – H -bindingen van acetofenon. Voor de energieniveaus geldt:

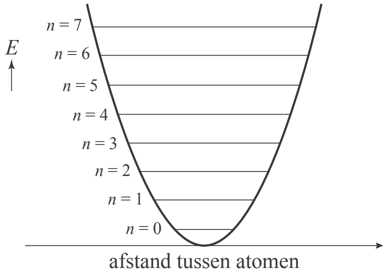
$$E_n = hf\left(n + \frac{1}{2}\right).$$

Hierin is:
- E_n De energie van niveau n;
- h De constante van Planck;
- f De frequentie van het massa-veer-systeem.

figuur 5



figuur 6



C-$^1_1$H-binding

Als het elektron in figuur 4 van D naar A gaat, neemt de C – H -binding van het geurmolecuul precies zoveel energie van het elektron op dat het massa-veer-systeem één energieniveau omhoog gaat.

3p **21** Bepaal met behulp van figuur 4 en 6 de waarde van *f*.

Om te onderzoeken of het model van Turin klopt, heeft een onderzoeker een experiment met fruitvliegjes gedaan. Hij bood twee verschillende geuren aan, waarvan één acetofenon was. De fruitvliegjes hadden een duidelijke voorkeur voor acetofenon. Daarna herhaalde hij het experiment, waarbij hij in acetofenon 'gewone' waterstofatomen ($^1_1$H) verving door deuteriumatomen ($^2_1$H). Nu hadden de fruitvliegjes geen voorkeur voor acetofenon. De fruitvliegjes konden dus het verschil tussen acetofenon met gewone waterstofatomen ($^1_1$H) en acetofenon met deuteriumatomen ($^2_1$H) ruiken.

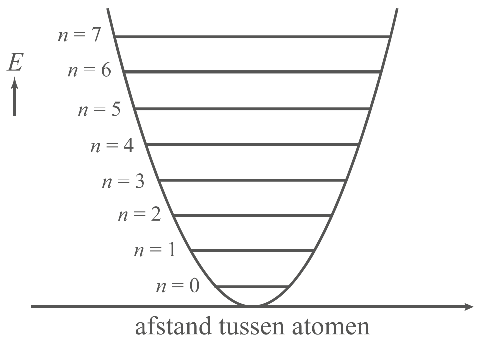
Neem aan dat de massa in het massa-veer-systeem de massa is van het waterstofatoom en dat de vervanging van gewoon waterstof door deuterium alleen effect heeft op de massa van het massa-veer-systeem en niet op de veerconstante.

2p **22** Leg uit dat de uitkomst van het experiment een ondersteuning is voor het model van Turin.

Op de uitwerkbijlage staat figuur 6, de energieput met energieniveaus van een C – $^1_1$H -binding van acetofenon weergegeven.
Op dezelfde schaal zijn ook nog vier energieputten met energieniveaus weergegeven (I tot en met IV) van dezelfde C – H -binding, waarin nu het gewone waterstof vervangen is door deuterium.

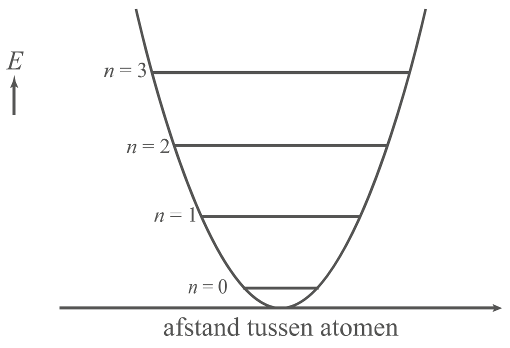
4p **23** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid af dat geldt: $\dfrac{f_{\text{deuterium}}}{f_{\text{waterstof}}} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$
- Leg daarmee uit welke energieput met energieniveaus op de uitwerkbijlage past bij de C – $^2_1$H-binding van het aangepaste acetofenon-molecuul.

uitwerkbijlage bij vraag 23



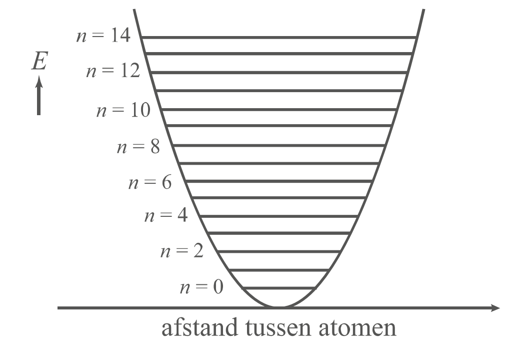
C-$^1_1$H-binding

I



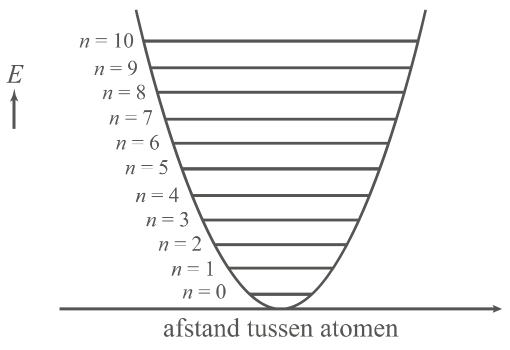
C-$^2_1$H-binding

II



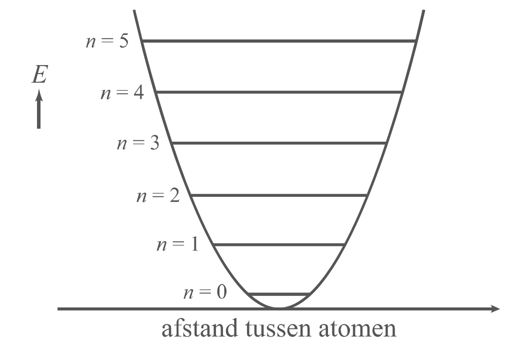
C-$^2_1$H-binding

III



C-$^2_1$H-binding

IV



C-$^2_1$H-binding

In de parfumindustrie worden geurmoleculen die erg duur zijn vervangen door andere moleculen die hetzelfde ruiken. Bij de zoektocht naar vervangende moleculen worden de energieniveaus van het oorspronkelijke molecuul vergeleken met de energieniveaus van het vervangende molecuul.

1p **24** Aan welke eis moeten de energieniveaus van het vervangende molecuul voldoen?

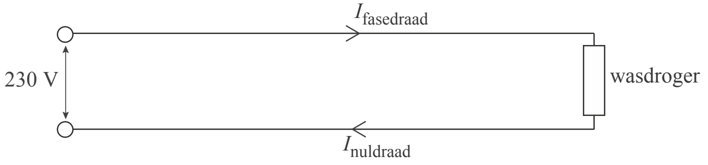
Aardlekschakelaar

Deze opgave gaat over een aardlekschakelaar. Deze werkt op een wisselspanning. De vragen in deze opgave kunnen echter worden beantwoord door de situatie te beschouwen alsof het gaat om gelijkspanning.

Een aardlekschakelaar (zie figuur 1) is een automatisch werkende schakelaar die een elektrische installatie spanningsloos maakt zodra er een lekstroom van een bepaalde grootte optreedt. De werking van een aardlekschakelaar berust op een verschilmeting in de stroomsterkte tussen twee draden, de fasedraad en de nuldraad. In figuur 2 is de situatie waarbij een wasdroger is aangesloten op het lichtnet schematisch weergegeven.

figuur 1

figuur 2

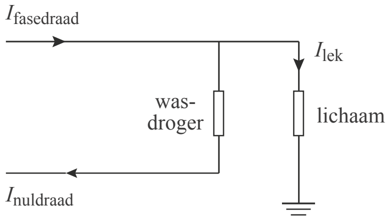


De stroomsterkte door de wasdroger wordt bepaald door het verwarmingselement dat in de wasdroger is opgenomen. Dit verwarmingselement is gemaakt van 42 m koperdraad met een diameter van 0,20 mm.

4p **25** Bereken de stroomsterkte door het verwarmingselement.

Door een defect in de wasdroger kan de metalen buitenkant onder spanning komen te staan en kan er een lekstroom optreden als een persoon de metalen buitenkant van de wasdroger aanraakt. Zie figuur 3.
De aardlekschakelaar reageert als er tussen de nuldraad en de fasedraad een verschil van meer dan 30 mA is.

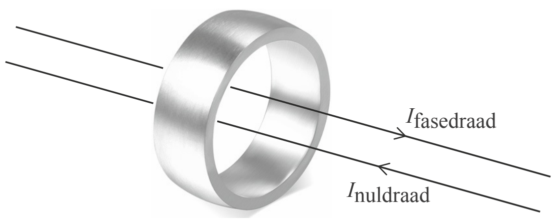
figuur 3



3p **26** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken de grootte van de lichaamsweerstand bij een lekstroom van 30 mA.
- Geef aan of de aardlekschakelaar reageert bij waarden voor de lichaamsweerstand die groter zijn of juist kleiner dan de berekende waarde.

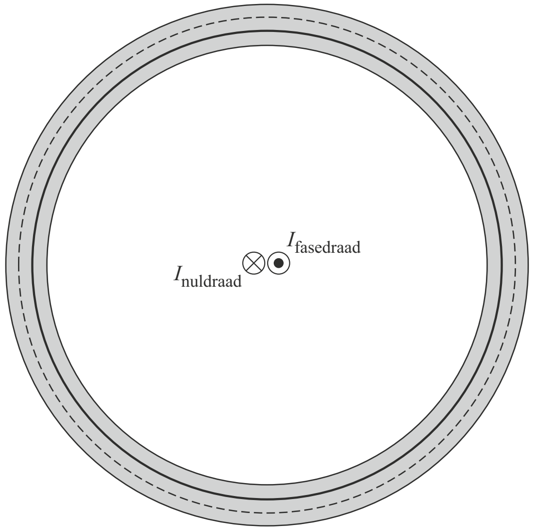
In de aardlekschakelaar lopen de fasedraad en de nuldraad door een (week)ijzeren ring. Zie figuur 4. In de figuur op de uitwerkbijlage is een vooraanzicht getekend van de situatie uit figuur 4. We nemen aan dat de fasedraad en de nuldraad allebei in het middelpunt van de ring liggen.

figuur 4



3p **27** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken met pijlen in de ring de richting van het magnetisch veld voor de fasedraad en voor de nuldraad in de figuur op de uitwerkbijlage.
- Geef de reden dat er geen netto magnetisch veld in de ring zal ontstaan als de stroomsterkten door de fasedraad en de nuldraad gelijk zijn.
- Geef de reden dat er wel een netto magnetisch veld in de ring ontstaat als er sprake is van een lekstroom.

uitwerkbijlage bij vraag 27

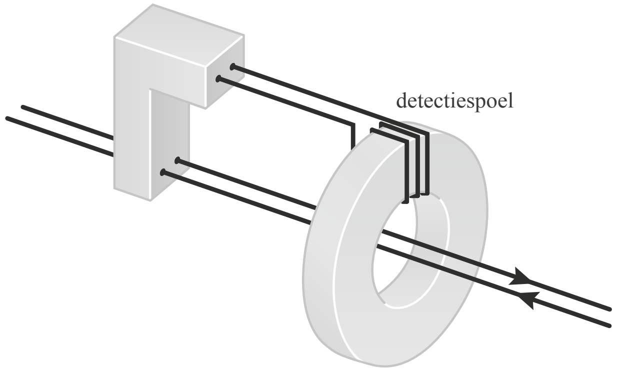


------------ Magnetische veldlijn fasedraad

———————— Magnetische veldlijn nuldraad

Een grotere lekstroom heeft een groter netto magnetisch veld tot gevolg. Rond de ijzeren ring is een spoel gewikkeld, de zogenoemde detectiespoel. Zie figuur 5. Deze detectiespoel is verbonden met een circuitonderbreker. Als er aan de circuitonderbreker een te hoge spanningspiek wordt aangeboden, verbreekt de circuitonderbreker de verbinding in de fasedraad en de nuldraad. Dit gebeurt op het moment dat er een te groot verschil ontstaat tussen de stroomsterkte in de fasedraad en de stroomsterkte in de nuldraad. Een aardlekschakelaar noemen we gevoeliger als hij de stroom uitschakelt bij een kleinere lekstroom.

figuur 5



3p **28** Voer de volgende opdrachten uit.
- Geef aan door welk natuurkundig principe de spanningspiek ontstaat.
- Leg uit welke aanpassing men moet doen aan de detectiespoel om de aardlekschakelaar gevoeliger te maken.

Hints bij examen 2019-I

1 Zie Binas 35A1.

2 Maak gebruik van een raaklijn aan de grafiek in figuur 3.

3 Hoe bepaal je de afstand in een (v,t)-diagram?

4 Wat is het verband tussen P, E en t?

5 Waaruit is het resulterend vermogen P_{res} opgebouwd?

6 – Wat betekent de oppervlakte onder een (P,t)-grafiek?
– Vergelijk de snelheden van de atletes aan het einde van de race.

7 Gebruik Binas 25A, 40A of 99.

8 Kijk naar de verdeling van de lading van de watermoleculen.

9 Waar liggen in de figuren 2a en 2b de zwaartepunten van de positieve en van de negatieve ladingen?

10 Welke energie moet een positron hebben om bij te dragen aan de Cerenkov-straling?

11 a Wat is de invloed van zichtbaar licht op de detectie?
b Welke invloed heeft weefsel op de Cerenkov-fotonen?

12 – Onder welke voorwaarde kan een positron Cerenkov-straling uitzenden?
– Bekijk in figuur 4 hoe d_{PET} gemeten kan worden.

13 Gebruik dat $d_{CLI} < d_{PET}$.

14 Vergelijk de verhouding tussen de maxima van figuur 1 en figuur 2 met de uitkomsten van de kwadratenwet.

15 Gebruik de figuren 4, 5 en 6.

16 Wat betekent de oppervlakte onder de grafiek in de uitwerkbijlage?

17 Welke van de twee stoffen absorbeert fotonen met meer verschillende golflengtes?

18 – Fotonen worden geabsorbeerd als hun energie hoger is dan de band-gap-energie.
– Gebruik figuur 6 en Binas 19A.

19 –

20 –

21 De sprongen tussen twee energieniveaus in figuur 6 zijn steeds even groot.

22 Wat is het verband tussen T, m en C?

23 – Gebruik Binas 35B1.
– Meet de onderlinge afstanden van de energieniveaus in de uitwerkbijlage.

24 –

25 Hoe bereken je de weerstand van een draad?

26 Maak gebruik van de wet van Ohm.

27 Maak gebruik van een rechterhandregel en vergelijk de grootte en de richting van de magnetische velden.

28 Gebruik Binas 35D4.

©ThiemeMeulenhoff

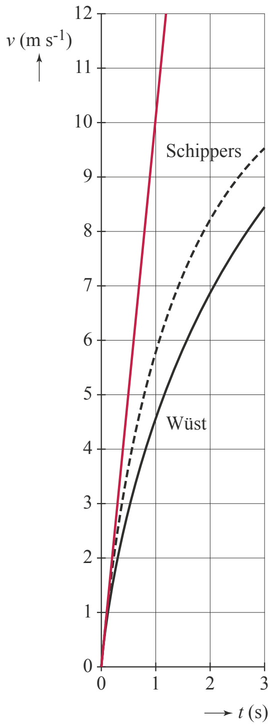
Uitwerkingen bij examen 2019-I

Dafne Schippers tegen Ireen Wüst

2p **1** Voor het verschil in gemiddelde snelheid Δv_{gem} geldt:
$\Delta v_{gem} = v_{gem,S} - v_{gem,W}$, waarin:
$v_{gem,S}$ = gemiddelde snelheid van Schippers = $\frac{\Delta x_S}{\Delta t_S}$ [1p] (Binas 35A1), met:
Δx_S = afgelegde afstand van Schippers = 100 m
Δt_S = tijd die Schippers nodig heeft om die afstand af te leggen = 10,81 s
zodat: $v_{gem,S} = \frac{100}{10{,}81} = 9{,}25$ m s^{-1}
$v_{gem,W}$ = gemiddelde snelheid van Wüst =
= $\frac{\Delta x_W}{\Delta t_W}$ (Binas 35A1), met:
Δx_W = afgelegde afstand van Wüst = 100 m
Δt_W = tijd die Wüst nodig heeft om die afstand af te leggen = 10,87 s
zodat: $v_{gem,W} = \frac{100}{10{,}87} = 9{,}20$ m s^{-1}
Invullen: Δv_{gem} = 9,25 – 9,20 = 0,05 m s^{-1} [1p]

3p **2** We berekenen de versnelling *a* van Schippers bij de start uit het (*v*,*t*)-diagram in figuur 3 door een raaklijn te tekenen op *t* = 0 s. [1p]
Zie de tekening (de ingevulde figuur 3).
Er geldt: $a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$ [1p] (Binas 35A1) = $\frac{12-0}{1{,}2-0}$ =
= 10 m s^{-2} [1p]

Uitkomsten tussen 8,0 m s^{-2} en 15 m s^{-2} vallen binnen de marge.



3p **3** – Op *t* = 6,0 s. [1p]
– De afstand tussen Schippers en Wüst neemt toe zolang de snelheid van Schippers groter is dan die van Wüst. In figuur 3 is te zien dat vanaf *t* = 6,0 s de snelheid van Wüst groter is dan die van Schippers. De afstand tussen de twee atletes zal vanaf dat tijdstip dus gaan afnemen. [1p]
– De maximale afstand kan bepaald worden door voor beide atletes in figuur 3 de oppervlakte onder hun grafiek tussen *t* = 0 s en *t* = 6,0 s te bepalen. Het verschil tussen de oppervlakten geeft de maximale afstand. [1p]

2p **4** Vanaf *t* = 6,0 s heeft Schippers een negatief resulterend vermogen P_{res}. [1p] Omdat geldt dat $P_{res} = \frac{E}{t}$ (Binas 35A4), is er sprake van een afname van energie *E* per tijdseenheid *t* in het systeem. De kinetische energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4) van de hardloopster neemt af ⇒ haar snelheid neemt af. [1p] In de grafiek van figuur 3 is dat te zien doordat vanaf *t* = 6,0 s de snelheid *v* van Schippers kleiner wordt.

2p **5** Het resulterend vermogen P_{res} is het verschil tussen het voortstuwend vermogen P_{stuw} dat de atlete levert en het vermogen P_w dat nodig is om de wrijvingskrachten te overwinnen ⇒ $P_{res} = P_{stuw} - P_w$ [1p]
Voor beide atletes is P_{stuw} gelijk. Toch is P_{res} voor Schippers kleiner dan voor Wüst ⇒ ⇒ P_w is voor Schippers groter dan voor Wüst ⇒ bij hardlopen zijn de wrijvingskrachten groter dan bij schaatsen. [1p]

3p **6** – De resulterende arbeid $W_{res} = P_{res} \cdot t$ is te bepalen door de oppervlakten onder de grafieken in figuur 4 tussen *t* = 0 s en het einde te bepalen. [1p] Ook zonder de bepaling uit te voeren is duidelijk te zien dat het resultaat daarvan voor Wüst groter is dan voor Schippers ⇒ in de race van Wüst is de resulterende arbeid groter dan in die van Schippers.
– Volgens de wet van arbeid en energie geldt voor de resulterende arbeid W_{tot} :
$W_{tot} = \Delta E_k$ [1p] (Binas 35A4), waarin:
ΔE_k = verschil tussen de kinetische energie aan de start en aan het einde =
$= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{eind}^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{start}^2$
De massa *m* en de beginsnelheid v_{start} van beide atletes is gelijk. In figuur 3 is te zien dat de eindsnelheid v_{eind} van Wüst groter is dan die van Schippers ⇒ in de race van Wüst is de resulterende arbeid groter dan in die van Schippers. [1p]

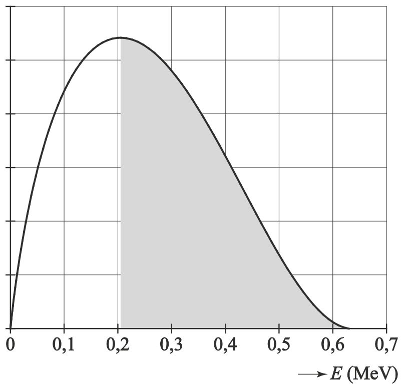
PET samen met CLI

2p **7** ${}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + {}^{0}_{+1}e$
- *F-18 heeft atoomnummer 9, dus: ${}^{18}_{9}F$ (Binas 25A, 40A of 99).*
- *Bij het verval komt β^+-straling (positron, ${}^{0}_{+1}e$) vrij.* [1p]
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn. De kern die bij dit verval ontstaat, heeft dus atoomnummer 9 – 1 = 8.*
  Dit is het element zuurstof (O) (Binas 25A, 40A of 99).
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn. Het massagetal van de zuurstofkern is dus 18 – 0 = 18.* [1p]

1p **8** In figuur 2 is te zien dat de watermoleculen zich met hun negatieve lading naar het deeltje richten. Verschillende ladingen trekken elkaar aan ⇒ het deeltje is positief geladen ⇒ het deeltje is een positron.

3p **9** – De ladingen zijn symmetrisch verdeeld rondom het deeltje. Daardoor ligt het gemiddelde van de positieve ladingen op dezelfde plaats als het gemiddelde van de negatieve ladingen ⇒ de ladingen heffen elkaar op ⇒ het netto elektrisch veld is gelijk aan nul. [1p]
– Het gemiddelde van de negatieve ladingen ligt dichter bij het deeltje dan dat van de positieve ladingen ⇒ de negatieve en positieve ladingen heffen elkaar niet meer op ⇒ er ontstaat een netto elektrisch veld. [1p]
– Het deeltje beweegt naar beneden. De watermoleculen richten zich met de negatieve kant naar het deeltje toe zodra het deeltje langskomt. Het netto elektrisch veld beweegt daardoor mee met de beweging van het deeltje. [1p]

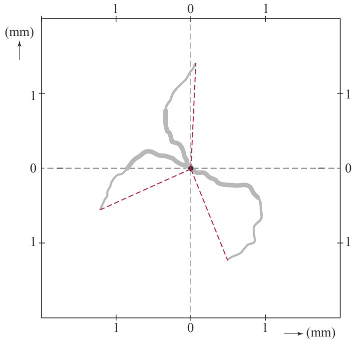
2p **10** Zie tekening 1.
De oppervlakte onder de grafiek in figuur 3 komt overeen met 100% van de positronen. Alleen positronen met een kinetische energie E_k van 0,205 MeV of groter dragen bij aan de Cerenkov-straling in het weefsel. [1p] Deze energie komt overeen met de top van de grafiek in figuur 3. Het percentage positronen dat bijdraagt aan de Cerenkov-straling in het weefsel komt dus overeen met het gearceerde deel van de oppervlakte onder de grafiek in tekening 1. Dat is meer dan de helft van de totale oppervlakte.
De beste schatting is dus **c** (60%). [1p]



tekening 1

2p **11** a De golflengtes van Cerenkov-straling komen ook voor in zichtbaar licht. Als het niet donker is, worden deze fotonen ook gemeten. Deze fotonen zouden dan onterecht kunnen worden toegeschreven aan de Cerenkov-straling. [1p]
b De Cerenkov-straling bestaat uit zichtbaar licht. Dit licht wordt in weefsel makkelijk geabsorbeerd of verstrooid. Als er veel weefsel tussen de tumoren en de detector zit, zal er erg weinig Cerenkov-straling gemeten worden. [1p]

3p **12** – Cerenkov-straling wordt alleen uitgezonden als de snelheid van het positron groter is dan 0,70*c*. Bij elke interactie met weefsel geeft het positron energie af en daalt de snelheid. Het Cerenkov-licht wordt dus alleen tijdens het eerste deel van het traject van het positron uitgezonden, als de snelheid nog hoog genoeg is.
Daarom geldt dat $d_{CLI} < d_{PET}$. [1p]
– In figuur 4 is te zien dat d_{PET} gelijk is aan de absolute afstand tussen de plaats waar het positron ontstaat en de plaats waar het annihileert. [1p]
Die afstand kunnen we schatten door in figuur 5 de afstand op te meten tussen de oorsprong (0,0) en het einde van de sporen (zie tekening 2, niet op ware grootte). Die afstanden zijn 2,6 cm, 2,8 cm en 2,7 cm. Het gemiddelde daarvan is 2,7 cm. In figuur 5 wordt gewerkt met een schaal van 2,0 cm : 1 mm.
Een schatting van d_{PET} is dan $\frac{2,7}{2,0} = 1,4$ mm. [1p]



tekening 2

2p **13** Omdat $d_{CLI} < d_{PET}$ worden de CLI-fotonen gemiddeld dichter bij de tumor uitgezonden dan de PET-fotonen. [1p] Dat leidt tot een nauwkeurigere schatting van de plaats van de tumor. [1p]

In de zon

4p **14** Om de verhouding tussen de maximale intensiteiten $\frac{I_{max,zon}}{I_{max,aarde}}$ te bepalen, vergelijken we de intensiteit I_{zon} van het zonlicht op het oppervlak van de zon met de intensiteit I_{aarde} van het zonlicht op aarde met:

$$\frac{I_{zon}}{I_{aarde}} = \frac{\frac{P_{zon}}{4\cdot\pi\cdot r_{zon}^2}}{\frac{P_{zon}}{4\cdot\pi\cdot r_{zon\text{-}aarde}^2}} = \frac{\frac{1}{r_{zon}^2}}{\frac{1}{r_{zon\text{-}aarde}^2}} = \frac{r_{zon\text{-}aarde}^2}{r_{zon}^2}$$ [1p] (kwadratenwet, Binas 35B2), waarin:

I_{zon} = intensiteit van het zonlicht op het oppervlak van de zon
I_{aarde} = intensiteit van het zonlicht op aarde
P_{zon} = uitgestraald vermogen van de zon
r_{zon} = straal van de zon = $6,963\cdot10^8$ m (Binas 32C)
$r_{zon\text{-}aarde}$ = afstand tussen de zon en de aarde = $1,496\cdot10^{11}$ m (Binas 31 of 32C)

Invullen: $\frac{I_{zon}}{I_{aarde}} = \frac{(1,496\cdot10^{11})^2}{(6,963\cdot10^8)^2} = 4,616\cdot10^4$ [1p] ⇒

⇒ volgens de kwadratenwet is I_{zon} dus $4,616\cdot10^4$ keer zo groot als I_{aarde}.
Dit vergelijken we met de verhouding tussen de intensiteit van pieken $I_{max,zon}$ in figuur 1 en $I_{max,aarde}$ in figuur 2:

$\frac{I_{max,zon}}{I_{max,aarde}} = \frac{83\cdot10^3}{2,1} = 4,0\cdot10^4$ keer zo groot [1p]

Die twee verhoudingen zijn van dezelfde orde van grootte.
Het grote verschil in de maximale intensiteit van de twee spectra kan dus ongeveer verklaard worden met behulp van de kwadratenwet. [1p]

2p **15** Uv-C heeft golflengtes tussen de 200 nm en 270 nm. In figuur 4 is te zien dat die golflengtes nauwelijks voorkomen in het uv-spectrum bij het aardoppervlak. [1p]
Uv-C draagt dus nauwelijks bij aan het biologisch effectieve uv-spectrum.
Uv-A heeft golflengtes tussen de 330 nm en 400 nm. In figuur 6 is te zien dat de weegfactor van deze golflengtes erg laag is (< 0,001). [1p] Uv-A draagt dus nauwelijks bij aan het biologisch effectieve uv-spectrum.

4p **16** We berekenen de tijd *t* die een persoon met zo'n huid zich volgens deze grens kan blootstellen aan de zon midden op een heldere dag rond 21 juni met:

$P_{abs} = \frac{E_{abs}}{t}$ [1p] (Binas 35A4) ⇒ $t = \frac{E_{abs}}{P_{abs}}$, waarin:

E_{abs} = totaal geabsorbeerde energie per m^2 = 80 J m^{-2}
P_{abs} = geabsorbeerd vermogen per m^2
We bepalen P_{abs} door in de figuur op de uitwerkbijlage de oppervlakte onder de grafiek te bepalen. [1p] Deze oppervlakte bestaat uit ongeveer 13 hokjes, zodat:
$P_{abs} = 13\cdot0,00025$ W m^{-2} nm$^{-1}\cdot 20$ nm $= 0,065$ W m^{-2} [1p]

Invullen: $t = \frac{80}{0,065} = 1,23\cdot10^3$ s = 21 min [1p]

2p **17** De werkzame stof in zonnebrandcrème absorbeert fotonen waarvan de foton-energie overeenkomt met een van de sprongen in het energieniveauschema. [1p]
Een discreet energieniveauschema heeft maar een klein aantal mogelijke sprongen en zal dus licht van slechts een beperkt aantal golflengtes absorberen.
Een stof met een band-gap heeft heel veel energieniveaus en daardoor heel veel mogelijke sprongen. Zo'n stof kan dus fotonen van veel verschillende golflengtes absorberen en absorbeert dus een groter deel van de schadelijke uv-straling. [1p]

5p **18**
- Om geschikt te zijn als werkend bestanddeel van zonnebrandcrème moet een stof voldoen aan twee specificaties:
  1 De stof moet fotonen uit het gehele uv-B-spectrum absorberen.
  Dat betekent dat de band-gap-energie kleiner moet zijn dan de laagste energie in het uv-B-spectrum. [1p] In figuur 6 is te zien dat het uv-B golflengtes tussen de 270 nm en 330 nm bevat. We berekenen de laagste foton-energie $E_{f,uv\text{-}B}$ in het uv-B met:

  $E_{f,uv\text{-}B} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ [1p] (Binas 35E1), waarin:

  h = constante van Planck = $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)
  c = lichtsnelheid = $2{,}998 \cdot 10^{8}$ m s^{-1} (Binas 7A)
  λ = golflengte van het uv-B-foton met de laagste energie = 330 nm = $330 \cdot 10^{-9}$ m

  Invullen: $E_{f,uv\text{-}B} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}}{330 \cdot 10^{-9}} = \frac{6{,}02 \cdot 10^{-19}\ \text{J}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}}$ eV (Binas 5) = 3,76 eV

  2 De stof mag geen zichtbaar licht absorberen. Dat betekent dat de band-gap-energie groter moet zijn dan de hoogste fotonenergie in het zichtbare spectrum. [1p] In Binas 19A is te zien dat zichtbaar licht golflengtes tussen de 380 nm en 770 nm bevat. Volgens Binas 19A hoort bij een golflengte van 380 nm een foton-energie van 3,26 eV. Dat is de hoogste foton-energie in het zichtbare spectrum.

  Alleen titaandioxide heeft een band-gap-energie die wel uv-B, maar geen zichtbaar licht kan absorberen. Titaandioxide is dus geschikt als werkzame stof in zonnebrandcrème. [1p]
- Galliumoxide heeft een band-gap-energie boven $E_{f,uv\text{-}B}$ en absorbeert daardoor geen uv-B. Galliumoxide is dus niet geschikt als werkzame stof in zonnebrandcrème.
  Zilveroxide heeft een band-gap-energie onder $E_{f,zicht}$ en absorbeert daardoor ook zichtbaar licht. Zilveroxide is dus niet geschikt als werkzame stof in zonnebrandcrème. [1p]

Ruiken

1p **19** De moleculen in figuur 2a hebben verschillende vormen. Ze zouden dus op verschillende receptoren moeten passen en daardoor verschillend moeten ruiken. Ze ruiken echter hetzelfde.
of:
De moleculen in figuur 2b hebben vrijwel dezelfde vorm. Ze zouden dus op dezelfde receptoren moeten passen en daardoor dezelfde geur moeten hebben. Ze ruiken echter verschillend.

2p **20** Als het elektron van D naar A gaat, neemt het geurmolecuul energie van het elektron op. De energie van het elektron neemt dus af. [1p] Het elektron komt daardoor terecht in het lagere energieniveau: 2,88 eV. [1p]

3p **21** We berekenen de frequentie f van het massa-veer-systeem met:

$\Delta E_{n+1\to n} = h \cdot f \cdot (n + 1 + \frac{1}{2}) - h \cdot f \cdot \left(n + \frac{1}{2}\right) = h \cdot f$ [1p] $\Rightarrow f = \frac{E_{n+1\to n}}{h}$, waarin:

$\Delta E_{n+1\to n}$ = energieverschil tussen de energieniveaus D en A = 3,00 – 2,88 = 0,12 eV = $= 0{,}12 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ J [1p] (Binas 5) = $0{,}19 \cdot 10^{-19}$ J
h = constante van Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)

Invullen: $f = \frac{0{,}19 \cdot 10^{-19}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} = 2{,}9 \cdot 10^{13}$ Hz [1p]

2p **22** De massa m van het deuteriumatoom is groter dan die van het waterstofatoom $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ volgens $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ (Binas 35B1) is de trillingstijd T groter bij het deuteriumatoom dan bij het waterstofatoom (bij gelijke veerconstante C) $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ volgens $f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1) is de frequentie f kleiner bij het deuteriumatoom dan bij het waterstofatoom. [1p]
In Turins model leidt een andere frequentie tot andere energie-overgangen en daarmee tot een andere geur $\Rightarrow$ het verschil in geurwaarneming door de fruitvliegjes ondersteunt Turins model. [1p]

4p **23**
- In een massa-veer-systeem geldt: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ [1p] en $f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1).

  Daarmee leiden we af dat: $\frac{f_{deuterium}}{f_{waterstof}} = \frac{T_{waterstof}}{T_{deuterium}} = \frac{2\pi \cdot \sqrt{\frac{m_{waterstof}}{C}}}{2\pi \cdot \sqrt{\frac{m_{deuterium}}{C}}} = \sqrt{\frac{m_{waterstof}}{m_{deuterium}}}$

  Omdat $m_{deuterium} = 2 \cdot m_{waterstof}$ geldt: $\sqrt{\frac{m_{waterstof}}{m_{deuterium}}} = \sqrt{\frac{m_{waterstof}}{2 \cdot m_{waterstof}}} = \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ [1p]
- Volgens $E_n = h \cdot f \cdot (n + \frac{1}{2})$ zijn de energieniveaus in de energieput recht evenredig met de frequentie van het systeem. [1p] In de figuur op de uitwerkbijlage is op te meten dat de energieniveaus bij het gewone acetofenon-molecuul een onderlinge afstand van 4,5 mm hebben. Bij het acetofenon-molecuul met het deuteriumatoom zal die afstand gelijk zijn aan $\frac{4{,}5 \cdot 1}{\sqrt{2}} = 3{,}2$ mm. Dit komt overeen met figuur III. [1p]

1p **24** De verschillen tussen de energieniveaus van het vervangende molecuul moeten (deels) overeenkomen met die van het oorspronkelijke molecuul.

Aardlekschakelaar

4p **25** Voor de stroomsterkte I door het verwarmingselement geldt:

$U = I \cdot R$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $I = \frac{U}{R}$, waarin:

U = spanning over het verwarmingselement = spanning van het lichtnet = 230 V
R = weerstand van het verwarmingselement

We berekenen R met: $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $R = \frac{\rho \cdot \ell}{A}$, waarin:

ρ = soortelijke weerstand van koper = $17 \cdot 10^{-9}\ \Omega\ \text{m}$ (Binas 8)
A = oppervlakte van de doorsnede van de draad = $\pi \cdot r^2$ (Binas 36B), waarin:

r = straal van de draad = helft van de diameter van de draad = $\frac{1}{2} \cdot 0{,}20$ mm = $= 0{,}10$ mm $= 0{,}10 \cdot 10^{-3}$ m
Invullen: $A = \pi \cdot (0{,}10 \cdot 10^{-3})^2 = 3{,}14 \cdot 10^{-8}\ \text{m}^2$ [1p]

ℓ = lengte van de draad = 42 m

zodat: $R = \frac{17 \cdot 10^{-9} \cdot 42}{3{,}14 \cdot 10^{-8}} = 22{,}7\ \Omega$

Invullen: $I = \frac{230}{22{,}7} = 10$ A [1p]

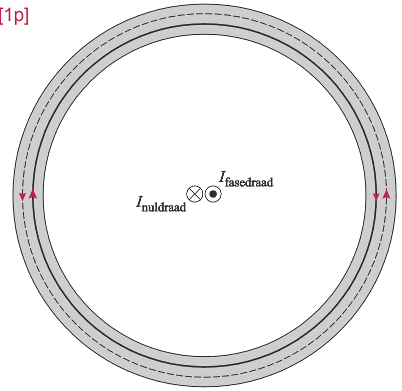
3p **26** – Voor de lichaamsweerstand R geldt: $U = I \cdot R$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $R = \frac{U}{I}$, waarin:

U = spanning over het verwarmingselement = spanning van het lichtnet = 230 V
I = lekstroom = 30 mA = $30 \cdot 10^{-3}$ A

Invullen: $R = \frac{230}{30 \cdot 10^{-3}} = 7{,}7 \cdot 10^3\ \Omega$ [1p]

– De aardlekschakelaar reageert als de lekstroom I groter is dan 30 mA. In de wet van Ohm $U = I \cdot R$ is te zien dat een toename van de lekstroom I overeenkomt met een afname van de weerstand R (bij gelijkblijvende spanning U). De aardlekschakelaar reageert dus bij een **kleinere** lichaamsweerstand dan de berekende waarde. [1p]

3p **27** – Zie de tekening (de ingevulde uitwerkbijlage). [1p]
Met de rechterhandregel is de richting van de magnetische veldlijnen te bepalen: als de duim met I mee gericht is, geven de vingers de richting van de veldlijnen aan. De veldlijnen van de fasedraad gaan daarom tegen de klok in. De veldlijnen van de nuldraad gaan met de klok mee.



– Als $I_{\text{fasedraad}}$ en I_{nuldraad} even groot zijn, dan zijn de magnetische velden van beide ook even groot. De richtingen van de magnetische velden zijn tegengesteld. De middelpunten van de velden overlappen elkaar. De velden heffen elkaar dus op $\Rightarrow$ het netto magnetisch veld is gelijk aan 0. [1p]
– Als er een lekstroom is, dan is $I_{\text{fasedraad}}$ groter dan I_{nuldraad}. Het magnetisch veld van de fasedraad is dan dus groter dan dat van de nuldraad. De velden heffen elkaar dus niet meer op $\Rightarrow$ er ontstaat een netto magnetisch veld. [1p]

3p **28** – De spanningspiek ontstaat door elektromagnetische inductie. [1p]
– Voor de hoogte van de inductiespanningspiek U_{ind} geldt:

$U_{\text{ind}} \propto N$ en $U_{\text{ind}} \propto \frac{d\Phi}{dt}$ (Binas 35D4), waarin:

N = aantal windingen van de spoel
$d\Phi$ = fluxverandering in de spoel = $B_{\perp} \cdot A$ (Binas 35D3), met $B_{\perp}$ de component van het magnetisch veld loodrecht op de spoel en A de oppervlakte van de windingen van de spoel
dt = tijdsduur van de fluxverandering

Bij een kleinere lekstroom I ontstaat een kleiner magnetisch veld $B_{\perp}$, waardoor de fluxverandering $d\Phi$ per tijdseenheid dt afneemt [1p], waardoor inductiespanning U_{ind} afneemt. Om de inductiespanning U_{ind} toch gelijk te laten blijven, moet men het aantal windingen N van de spoel dan groter maken. [1p]

Examen 2019-II

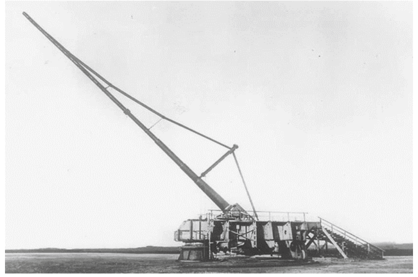
Pariser Kanone

Tegen het einde van de Eerste Wereldoorlog introduceerde het Duitse leger een nieuw ontwerp kanon, het ‘Pariser Kanone’ (het Parijse Kanon). Zie figuur 1. Dit kanon kon Parijs beschieten van achter de frontlinie, een afstand van 120 km. Een granaat bereikte hierbij een hoogte van wel 40 km waarbij hij door zeer ijle lucht vloog. Tussen maart en augustus 1918 schoot het Duitse leger ongeveer 350 granaten af richting Parijs.

Gegevens van het Pariser Kanone

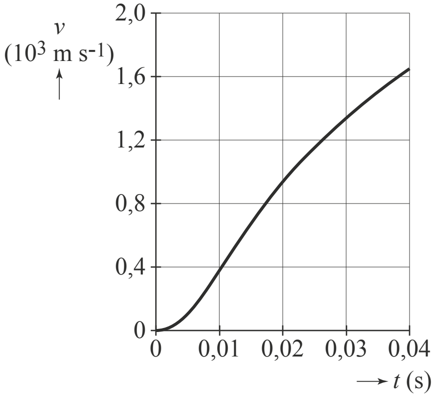
diameter granaat	20 cm
massa granaat	106 kg
buskruit per schot	180 kg
uittree-snelheid	1640 m s^{-1}
afstand	>120 km
hoogte	>40 km

figuur 1

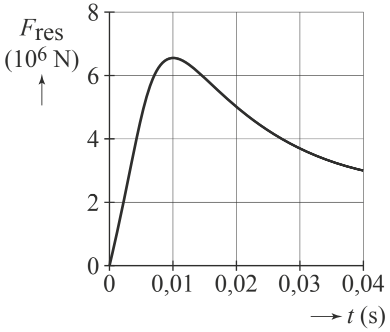


De loop was extra lang gemaakt, zodat de granaten een voldoende hoge snelheid kregen om de afstand te overbruggen.
In figuur 2a en 2b zijn het (v,t)-diagram en het (F_{res},t)-diagram van een granaat weergegeven tijdens het afschieten. Op t = 0,04 s verlaat de granaat de loop. Deze figuren staan vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 2a

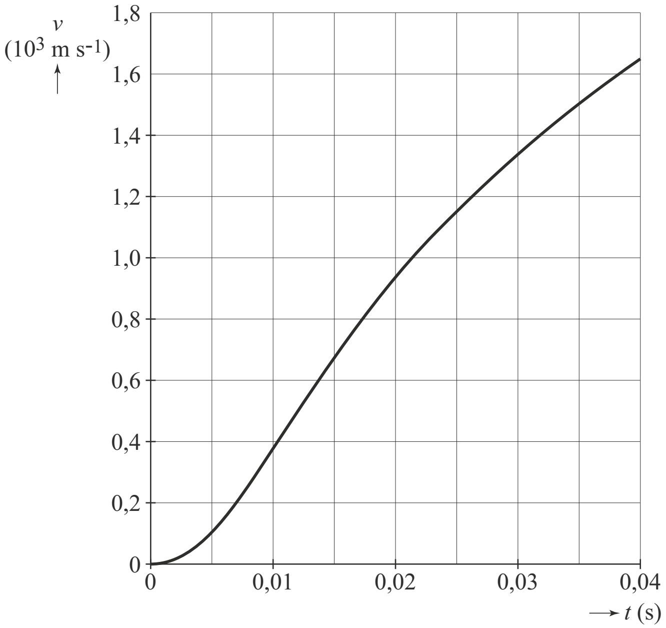


figuur 2b



3p **1** Bepaal met behulp van figuur 2a op de uitwerkbijlage de lengte van de loop van het kanon.

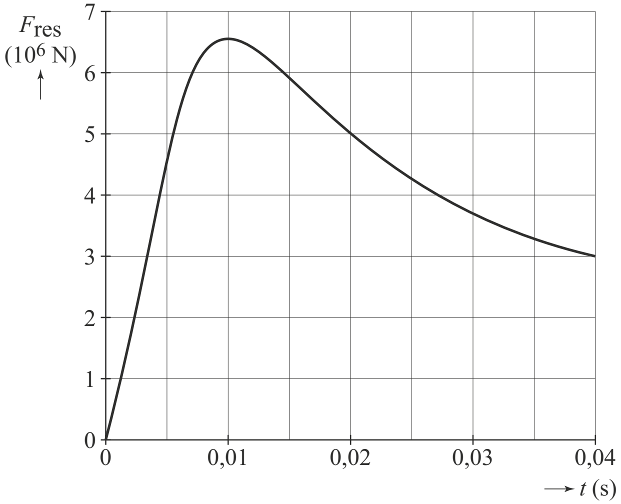
figuur 2a, uitwerkbijlage bij vraag 1



De granaat bereikt zijn maximale versnelling op t = 0,01 s.

5p **2** Bepaal met behulp van de figuren 2a en 2b op de uitwerkbijlage de massa van een granaat, en laat zien of deze massa ligt binnen een marge van 10% van de waarde uit de tabel.

figuur 2b, uitwerkbijlage bij vraag 1 en 2



Er komt 3,0 MJ aan energie vrij per kilogram buskruit.

4p **3** Bereken het rendement van het afschieten (tot t = 0,04 s) van het kanon. Verwaarloos hierbij de toename van de zwaarte-energie.

Fabian wil met behulp van een model de baan simuleren van een granaat nadat die door het kanon afgeschoten is. Hij beschouwt de baan als een combinatie van een beweging in de x-richting en een beweging in de y-richting. Zie figuur 3 voor het model.

figuur 3

model

'luchtwrijving:'

$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_w \cdot v^2$

'beweging in de x-richting:'

$F_{wx} = F_w \left(\frac{v_x}{v}\right)$

$F_x = -F_{wx}$

$a_x = \frac{F_x}{m}$

$v_x = v_x + a_x \cdot \mathrm{dt}$

$x = x + v_x \cdot \mathrm{dt}$

'beweging in de y-richting:'

$F_{wy} = F_w \left(\frac{v_y}{v}\right)$

F_y = ... $- F_{wy}$

$a_y = \frac{F_y}{m}$

$v_y = v_y + a_y \cdot \mathrm{dt}$

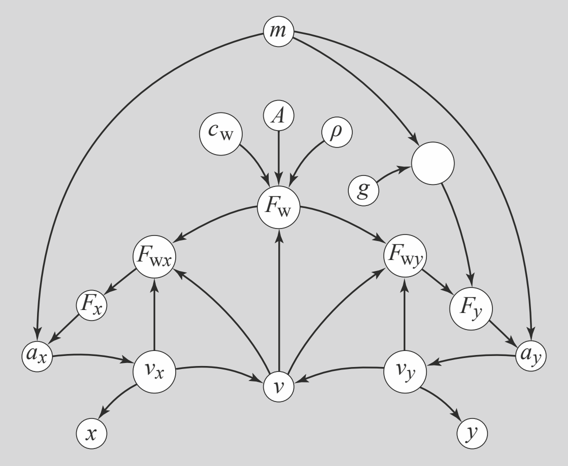
$y = y + v_y \cdot \mathrm{dt}$

$t = t + \mathrm{dt}$

'stopconditie: …………'

startwaarden in SI-eenheden

t = 0
dt = 0,1
g = 9,81
m = 106
$F_z = m \cdot g$
ρ = 1,28
v = 1640
hoek = 33 'in graden'
x = 0
y = 19
$v_x = v \cdot \cos(hoek)$
$v_y = v \cdot \sin(hoek)$
c_w = 0,18
A = ...

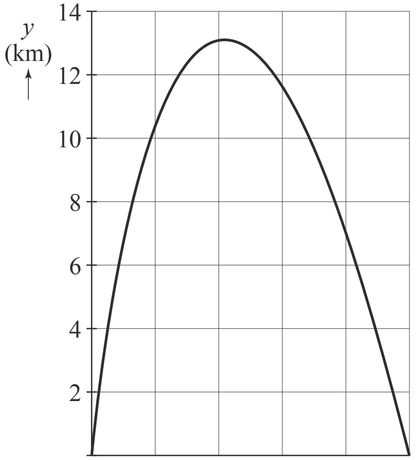


De stopconditie bepaalt wanneer het model moet stoppen.

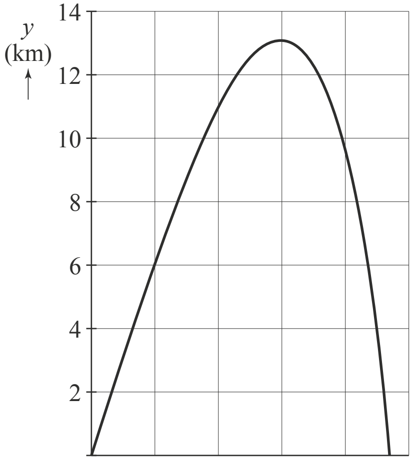
4p **4** Voer de volgende opdrachten uit:
- Beschrijf wat de stopconditie in dit model moet zijn.
- Geef aan wat op de stippellijn moet komen in de regel: F_y = ... $- F_{wy}$
- Bereken de juiste waarde van A.

Met behulp van het model maakt Fabian een (y,t)-diagram en een (y,x)-diagram van de baan van een granaat. Zie figuur 4a en 4b.

figuur 4a



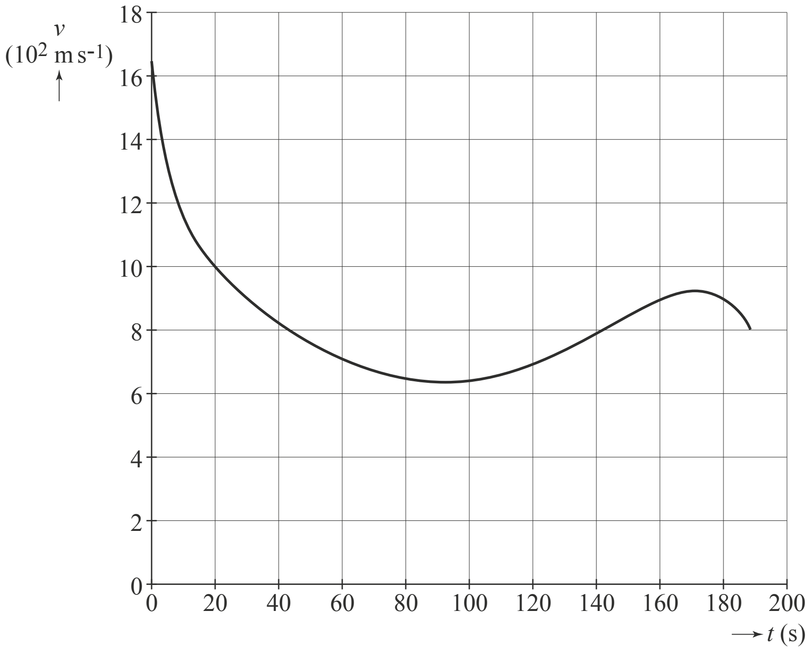
figuur 4b



2p **5** Leg uit welk diagram (figuur 4a of figuur 4b) het (y,t)-diagram van de granaat weergeeft.

Fabian merkt op dat zijn model niet kan verklaren hoe een granaat met een beginsnelheid van 1640 m s^{-1} een afstand van 120 km kan afleggen. Emily merkt op dat de luchtdichtheid van de atmosfeer afneemt als de hoogte boven zeeniveau toeneemt.
Fabian breidt zijn model uit met een variabele luchtdichtheid en met dit model simuleert hij de beweging van de granaat. Dit levert het (v,t)-diagram van figuur 5.
Na 190 s slaat de granaat in.

figuur 5



3p **6** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan waarom de minimale snelheid van de granaat niet gelijk is aan 0.
- Leg uit waarom de snelheid van de granaat aan het eind van de beweging afneemt.

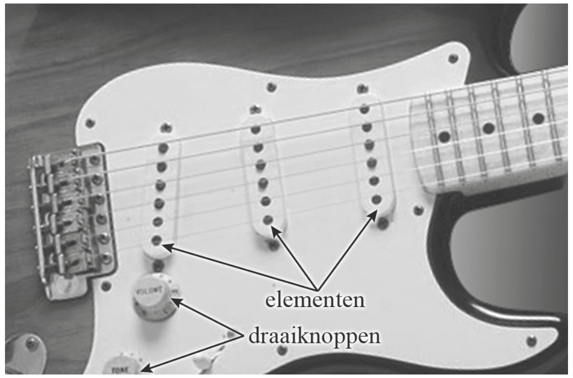
Fabian wil nagaan of hij met dit model de vlucht van de granaat van het kanon realistisch heeft gesimuleerd en of de granaat inderdaad 120 km verderop inslaat. In figuur 5 bepaalt hij daarvoor de oppervlakte onder de grafieklijn, tussen t = 0 en t = 190 s.
Emily merkt op dat Fabian nu een fout maakt.

3p **7** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit waarom Fabian de afstand tussen het kanon en de inslag van de granaat niet op correcte wijze heeft bepaald.
- Geef aan of de afstand die Fabian heeft gevonden te groot of te klein is.

Elektrische gitaar

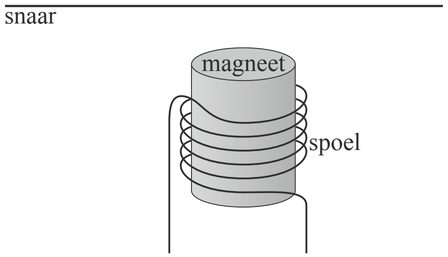
Het geluid van een elektrische gitaar wordt versterkt weergegeven via een luidspreker. Op de gitaar zijn zogenaamde elementen gemonteerd, die de mechanische trillingen van de snaren omzetten in elektrische trillingen.
Ook zijn er twee draaiknoppen op de elektrische gitaar gemonteerd. Zie figuur 1.

figuur 1



De drie elementen zijn met een pijl aangeduid. Een element bestaat uit zes permanente magneten die elk in een spoel geplaatst zijn. Boven elke magneet bevindt zich een snaar. Zie figuur 2.

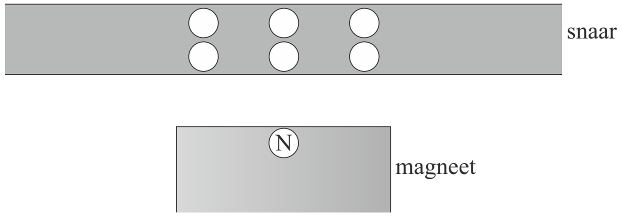
figuur 2



De snaren op een elektrische gitaar zijn gemaakt van roestvrij staal. In de situatie van figuur 2 zal de snaar gemagnetiseerd worden. Op de uitwerkbijlage zijn de snaar en de magneet uit figuur 2 schematisch en sterk vergroot weergegeven.

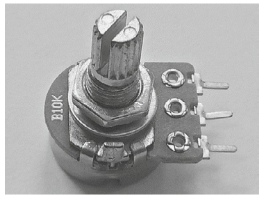
2p **8** Geef in de figuur op de uitwerkbijlage in elk cirkeltje aan met een letter N of Z of er op die plaats sprake is van een noordpool of een zuidpool.

uitwerkbijlage bij vraag 8

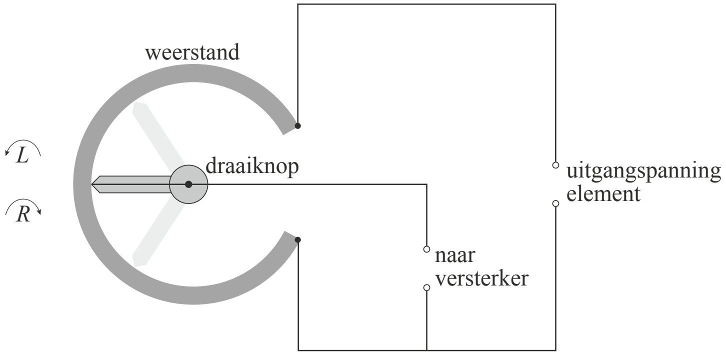


Als de gemagnetiseerde snaar in trilling wordt gebracht, ontstaat er een spanning over de spoel. Dit is de uitgangsspanning van het element.
Een van de draaiknoppen op de gitaar is de volumeknop. Onder die draaiknop zit een onderdeel, weergegeven in figuur 3a. Dit onderdeel is opgenomen in een schakeling zoals weergegeven in figuur 3b.

figuur 3a



figuur 3b



Door aan de knop te draaien kan de gitarist de grootte van de spanning regelen die naar de versterker gaat.

3p **9** Leg uit in welke richting, linksom (*L*) of rechtsom (*R*), de knop gedraaid moet worden, zodat een kleinere spanning naar de versterker gaat.

Het verband tussen de golfsnelheid en de spankracht in een snaar wordt gegeven door:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \text{ met } \mu = \frac{m}{\ell}$$

Hierin is:
- v de golfsnelheid (in m s^{-1});
- F de spankracht (in N);
- μ de massa per lengte-eenheid (in kg m^{-1});
- m de massa (in kg);
- ℓ de lengte van de snaar (in m).

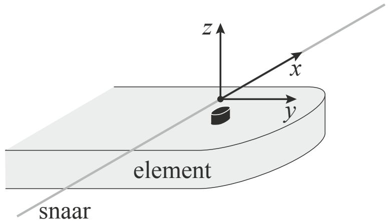
De lengte van de laagst klinkende gitaarsnaar (de E-snaar) is 64,5 cm.
De snaar is cilindervormig en massief en heeft een diameter van 1,42 mm.
De spankracht in de snaar is $1{,}5 \cdot 10^2$ N.

De frequentie van de grondtoon van de E-snaar van deze gitaar is 85 Hz.

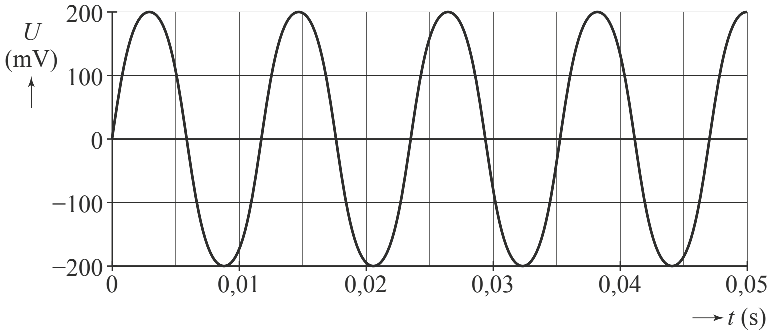
5p **10** Toon dit aan.

Een snaar kan in twee richtingen gaan trillen als deze wordt aangeslagen: een richting evenwijdig aan het element (de *y*-richting) en een richting loodrecht op het element (de *z*-richting). Zie figuur 4. Luc bouwt een opstelling waarmee hij een snaar kan laten trillen in alleen de *z*-richting of alleen de *y*-richting. Allereerst laat hij de E-snaar alleen in de *z*-richting trillen en meet hij de spanning die het element levert. Het resultaat van de meting in de *z*-richting is weergegeven in figuur 5.

figuur 4



figuur 5

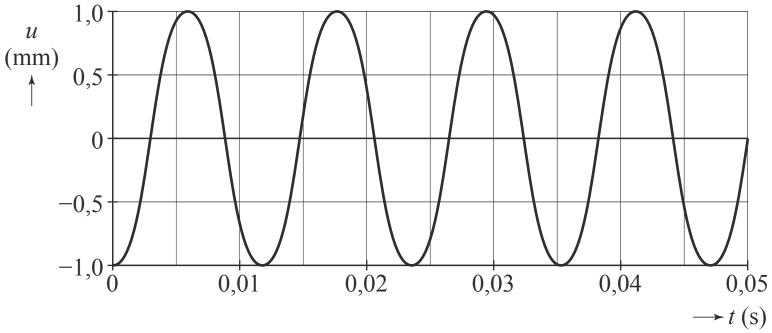


De frequentie van de spanning als de E-snaar trilt in de *z*-richting, komt overeen met de frequentie van de grondtoon van de E-snaar.

2p **11** Toon dit aan.

Luc legt met een bewegingssensor ook de beweging van de E-snaar in de *z*-richting vast. Dit levert het meetresultaat zoals weergegeven in figuur 6.

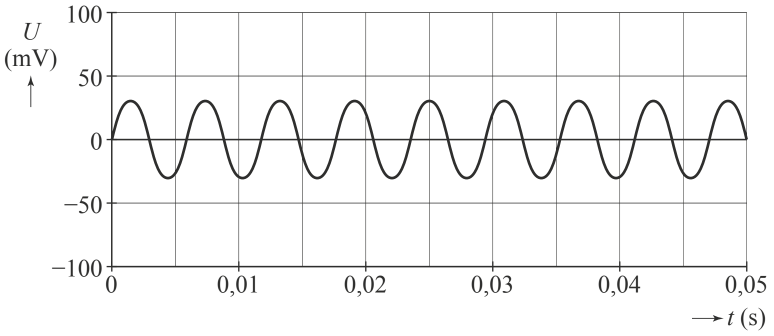
figuur 6



2p **12** Leg uit waarom een maximale waarde van de spanning optreedt op het moment dat de snaar door de evenwichtsstand beweegt.

Hierna laat Luc de E-snaar alleen in de *y*-richting trillen en meet hij de spanning die het element levert. Het resultaat van deze meting in de *y*-richting is weergegeven in figuur 7.

figuur 7



De frequentie van de spanning bij trillen in de *y*-richting is 2 maal zo groot als de frequentie van de spanning bij trillen in de *z*-richting.

3p **13** Leg uit hoe dat komt.

In de uitwerkbijlage bij vraag 14 is een elektrische gitaar weergegeven. De snaren trillen tussen de brug en de topkam. Element 1 bevindt zich verder van de brug dan element 2. Met behulp van een schakelaar kiest de gitarist welk element hij gebruikt.

figuur 8

De klank die de elektrische gitaar geeft, is anders bij gebruik van element 1 dan bij gebruik van element 2. Dit wordt veroorzaakt door een verschil in de sterkte van de boventonen. Dat komt doordat een element sommige boventonen niet (of nauwelijks) detecteert. Bij element 1 zijn dat andere boventonen dan bij element 2.

3p **14** Geef aan met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage wat de laagste boventoon is die element 1 niet (of nauwelijks) detecteert. Licht je antwoord toe met een bepaling.

a tweede boventoon
b derde boventoon
c vierde boventoon
d vijfde boventoon
e zesde boventoon

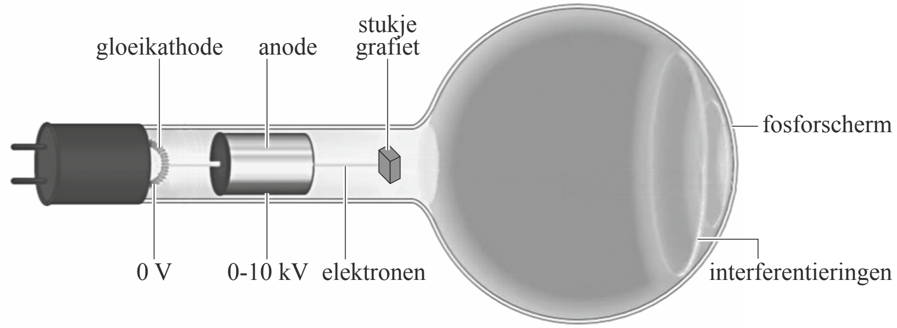
uitwerkbijlage bij vraag 14

Elektronendiffractie

G.P. Thomson toonde experimenteel elektronendiffractie aan. Hij liet zien dat er een interferentiepatroon ontstaat als elektronen op een stukje vaste stof geschoten worden. Hiermee toonde hij aan dat elektronen een golfkarakter hebben. In 1937 ontving hij hiervoor de Nobelprijs.

Bob en Marly gaan het experiment van Thomson uitvoeren met een elektronendiffractiebuis. Zij willen daarmee de afstanden tussen de atomen in grafiet bepalen. Zij gebruiken de opstelling die weergegeven is in figuur 1.

figuur 1



De gloeikathode levert elektronen. Deze elektronen hebben een verwaarloosbare snelheid. De elektronen doorlopen een versnelspanning die variabel is tot 10 kV. De elektronen gaan door het stukje grafiet, waarna ze op een fosforscherm een interferentiepatroon geven. Dit interferentiepatroon kan worden verklaard doordat de elektronen een golfkarakter vertonen.

Voor de debroglie-golflengte van de elektronen geldt:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2emU}} \qquad (1)$$

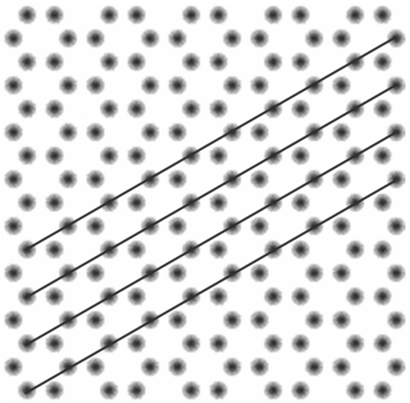
Hierin is:
- h de constante van Planck;
- e de lading van het elektron;
- m de massa van het elektron;
- U de versnelspanning.

3p **15** Leid formule (1) af.

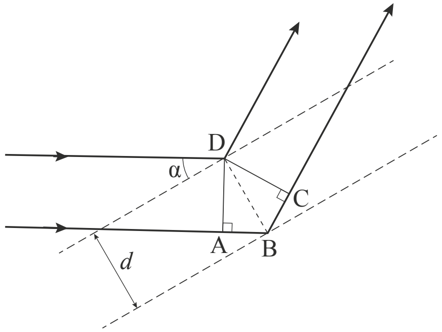
2p **16** Bereken de debroglie-golflengte van de elektronen nadat ze een versnelspanning van 5,0 kV hebben doorlopen.

In grafiet liggen de koolstofatomen in lagen op elkaar. In de afzonderlijke lagen liggen de koolstofatomen in regelmatige zeshoeken.
Het effect van elektronendiffractie vindt plaats binnen één laag en niet tussen de lagen. In figuur 2 is één zo'n laag weergegeven.
In een laag liggen de atomen in evenwijdige lijnen. Aan deze lijnen vindt reflectie plaats, de zogenaamde Braggreflectie. De elektronengolven die terugkaatsen van de verschillende evenwijdige lijnen hebben een verschil in weglengte waardoor ze interfereren. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3.

figuur 2



figuur 3



Er treedt constructieve interferentie op als:

$$2d \sin \alpha = n\lambda \quad \text{met} \quad n = 1, 2, 3,... \qquad (2)$$

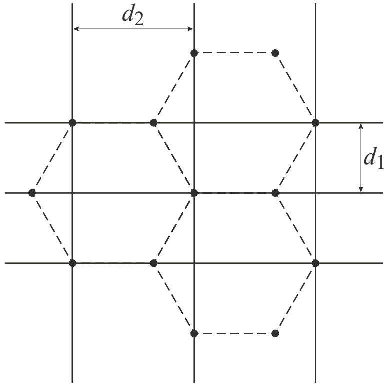
Hierin is:
- d de afstand tussen de roosterlijnen;
- α de hoek waaronder de elektronenbundel de roosterlijn treft;
- λ de debroglie-golflengte van de elektronen.

4p **17** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef in figuur 3 het verschil in weglengte tussen de twee stralen aan.
- Leid hiermee formule (2) af.

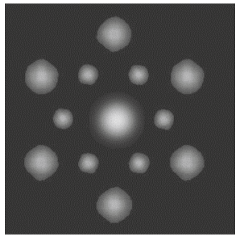
In figuur 4 zijn verschillende lijnen te zien waaraan reflectie plaats kan vinden. De afstanden tussen verschillende lijnen zijn aangegeven met d_1 en d_2.

Bij een interferentiepatroon aan een monokristallijne laag grafiet (dat wil zeggen een laag die uit één kristal grafiet bestaat) ontstaat het patroon van figuur 5 op het scherm van de elektronendiffractiebuis uit figuur 1.

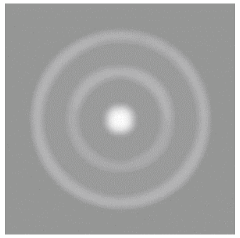
figuur 4



figuur 5



figuur 6



Als er in de diffractiebuis geen monokristallijne laag grafiet zit maar een polykristallijne laag (dat wil zeggen dat er vele kristallen kriskras door elkaar zitten), ziet het interferentiepatroon eruit als in figuur 6.

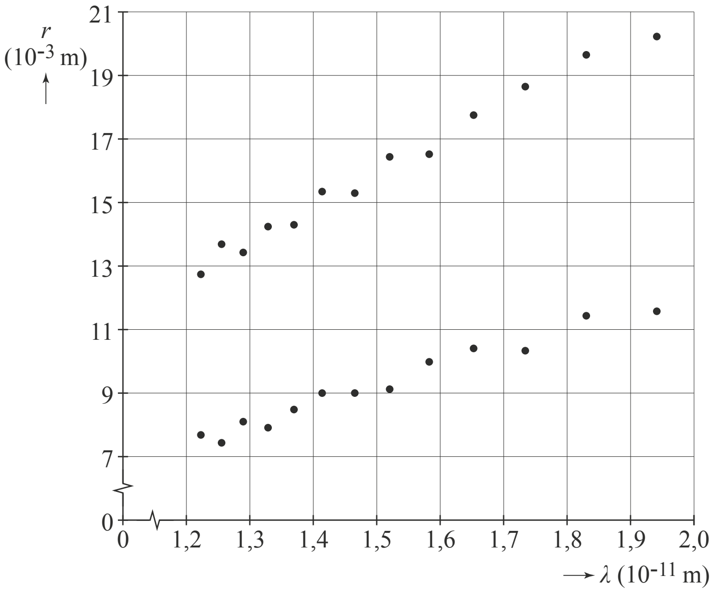
2p **18** Leg uit of de buitenste ring komt van interferentie aan lijnen met afstand d_1 of met afstand d_2.

Bob en Marly meten bij verschillende versnelspanningen de straal van de ringen op het scherm.
Bij lage versnelspanningen verschijnen geen ringen op het scherm. Dan is alleen de stip in het midden op het scherm te zien.

2p **19** Leg uit waarom bij lage versnelspanningen geen ringen verschijnen op het scherm.

Van de metingen maken Bob en Marly een grafiek waarin ze de straal van beide ringen uitzetten tegen de debroglie-golflengte van de elektronen.
Zie figuur 7.

figuur 7



Voor kleine afbuigingshoeken geldt bij benadering:

$$r = \frac{2R}{d} n\lambda$$

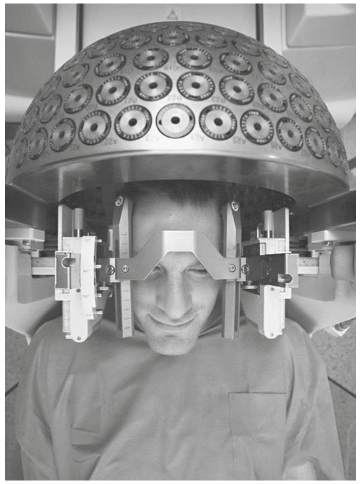
Hierin is:
- r de straal van de ring op het scherm;
- d de afstand tussen roostervlakken;
- λ de debroglie-golflengte;
- R de straal van de bol van de diffractiebuis (65 mm);
- n = 1.

4p **20** Bepaal met behulp van de figuur 7 zo nauwkeurig mogelijk de grootte van d voor de buitenste ring.

Gamma-chirurgie

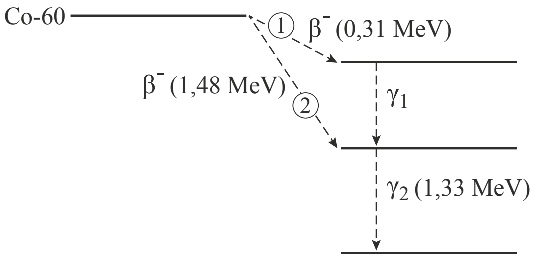
Gamma-chirurgie ('gamma knife radiosurgery') wordt toegepast voor de behandeling van tumoren die kleiner zijn dan ongeveer 3 cm en in een gebied van de hersenen liggen dat moeilijk bereikbaar is tijdens een operatie. Er wordt gebruikgemaakt van γ-straling die sterk geconcentreerd kan worden op het aangetaste gebied.

figuur 1



Tijdens de behandeling draagt de patiënt een speciaal soort helm waarin kobalt-60-bronnen geplaatst zijn. Zie figuur 1.
Kobalt-60 is een radioactieve stof die vervalt onder uitzending van β^--straling en γ-straling. Het radioactieve verval van kobalt-60 kan op twee manieren verlopen. Deze manieren zijn weergegeven in figuur 2, met 1 en 2.

figuur 2



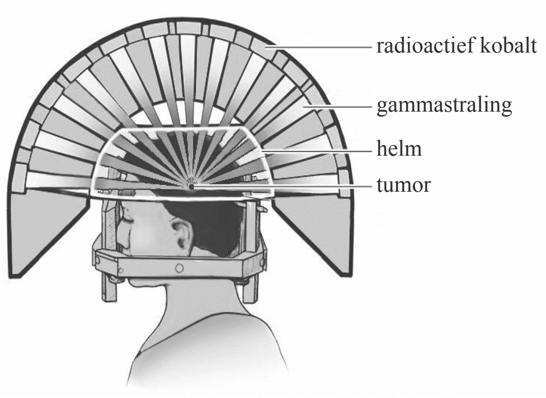
Verreweg de meeste deeltjes vervallen volgens manier 1.

3p **21** Geef de vervalvergelijking van dit verval.

3p **22** Bereken de golflengte van γ_2.

In figuur 3 is de situatie van figuur 1 schematisch weergegeven.

figuur 3



De γ-straling vanuit de kobalt-bronnen wordt sterk geconcentreerd op het deel van de hersenen waar zich een tumor bevindt. De gebruikte kobalt-bronnen hebben elk een activiteit van 1,1 TBq.

4p **23** Bereken de massa van het kobalt-60 in een bron.

Bij een bepaalde patiënt staat de opstelling zo afgesteld dat een bolvormige tumor met een diameter van 3,0 cm bestraald wordt.
Per seconde worden door de tumor $3{,}5 \cdot 10^9$ γ-fotonparen geabsorbeerd. Om de tumor volledig te kunnen vernietigen is een stralingsdosis nodig van 150 Gy. Hiertoe moet de patiënt gedurende een bepaalde tijd bestraald worden.

5p **24** Bereken deze tijd. Gebruik voor de tumor de eigenschappen van water. Ga uit van het verval volgens manier 1 (van figuur 2).

De kobalt-bronnen worden jaren achter elkaar gebruikt. Om in de loop van die jaren een gelijke stralingsdosis te kunnen realiseren is het noodzakelijk de bestralingstijd bij te stellen.

2p **25** Leg uit of deze bestralingstijd in de loop van de jaren langer of korter wordt.

Hints bij examen 2019-II

1 De lengte *L* van de loop is gelijk aan de door de granaat afgelegde weg in de loop.

2 Hoe bepaal je de versnelling *a* uit een (*v*,*t*)-diagram?

3 Welke energie-omzetting vindt er plaats?

4
- Het model is alleen van toepassing op de bewegende granaat.
- Welke twee krachten werken er op de granaat tijdens zijn vlucht?
- *A* staat voor de frontale oppervlakte van de granaat.

5 Hoe bepaal je de snelheid *v* uit een (*s*,*t*)-diagram?

6
- Bekijk figuur 1.
- Wat is de richting van de resulterende kracht op de granaat vlak voordat hij inslaat?

7
- Hoe vind je in een (*v*,*t*)-diagram de afgelegde weg?
- Vergelijk de afgelegde weg van de granaat met de afstand die hij in de *x*-richting aflegt.

8 Wordt de onderkant van de snaar ten gevolge van de magneet een noord- of een zuidpool?

9 Staat de onderste helft van de weerstand in serie met of parallel aan de versterker?

10 Bereken met de twee formules eerst de golfsnelheid *v* van de golf in de snaar.

11 Zie Binas 35B1.

12 Waar is de snelheid van de snaar maximaal?

13 Ga zowel voor de *y*- als voor de *z*-richting na hoe de flux bij één volledige trilling verandert.

14 Bepaal de afstand tussen twee opeenvolgende knopen bij de laagste boventoon die element 1 niet of nauwelijks detecteert.

15 Gebruik de wet van behoud van energie.

16 Zie Binas 7A en 7B.

17
- Maak gebruik van de twee hulplijnen DA en DC in figuur 3.
- Bedenk dat $\angle ADB = \angle CDB = \alpha$.

18 Ga na wat er met sin α gebeurt als *d* kleiner wordt.

19 Wat gebeurt er met λ als *v* kleiner wordt?

20 Teken in de bovenste reeks metingen een rechte lijn die zo goed mogelijk door de meetpunten gaat.

21 Wat moet links en rechts van de $\rightarrow$ hetzelfde zijn?

22 Zie Binas 35E2.

23 Bereken het aantal radioactieve kernen *N* in de bron.

24 Wat is de halveringstijd van kobalt-60?

25 Wat gebeurt er in de loop van de tijd met de activiteit van de bronnen?

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2019-II

Pariser Kanone

3p **1** De lengte L van de loop is gelijk aan de door de granaat afgelegde weg in de loop. L komt overeen met de oppervlakte onder de grafiek in figuur 2a [1p] (uitwerkbijlage bij vraag 1). We bepalen deze oppervlakte door het aantal hokjes te tellen onder de grafiek. [1p] We vinden:
L = aantal hokjes · oppervlakte van één hokje = 34 · (0,2 · 10^3 · 0,005) = 34 m [1p]

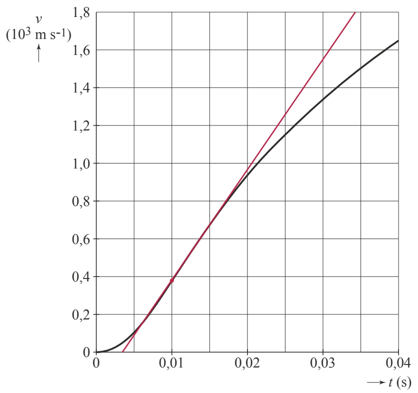
5p **2** De massa m van een granaat vinden we met:
$F_{res} = m \cdot a$ [1p] (Binas 35A3) $\Rightarrow$

$\Rightarrow\ m = \frac{F_{res}}{a}$, waarin:

F_{res} = maximale resulterende kracht op de granaat. Deze kracht, en dus ook de versnelling a, is maximaal op $t = 0{,}01$ s. [1p] Aflezen in figuur 2b (uitwerkbijlage bij vraag 1 en 2) geeft: $F_{res} = 6{,}6 \cdot 10^6$ N

a = maximale versnelling op $t = 0{,}01$ s. Bepaal a door een raaklijn te tekenen aan de grafiek in figuur 2a (uitwerkbijlage bij vraag 1) op $t = 0{,}01$ s [1p] (zie de tekening).
Er geldt:

a = helling van de raaklijn = $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ (Binas 35A1)



We lezen af: $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1{,}8 \cdot 10^3 - 0}{0{,}0340 - 0{,}0035} = 5{,}90 \cdot 10^4\ \text{m s}^{-2}$

Invullen: $m = \frac{6{,}6 \cdot 10^6}{5{,}90 \cdot 10^4} = 112$ kg

In de tabel staat voor de massa van de granaat opgegeven: $m = 106$ kg

Het verschilpercentage met deze waarde is $\frac{112 - 106}{106} \cdot 100\,\% = 5{,}7\%$ [1p]

Dit valt binnen de marge van 10%. [1p]
- *Ook kan: 10% van 106 kg = 10,6 kg $\Rightarrow$ de marge van de massa ligt tussen 106 – 10,6 = 95,4 kg en 106 + 10,6 = 116,6 kg. De bepaalde massa m van 110 kg ligt dus binnen de marge.*
- *De bepaling van m mag op elk tijdstip in de grafieken gedaan worden.*

4p **3** Voor het rendement η van het afschieten van het kanon (tot $t = 0{,}04$ s) geldt:
$\eta = \frac{E_k}{E_{ch}}$ [1p] (Binas 35A4), waarin:

E_k = kinetische energie van de granaat = $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ [1p] (Binas 35A4), met:

m = massa van de granaat = 106 kg (zie de tabel)
v = uittree-snelheid van de granaat = 1640 m s^{-1} (zie de tabel),

zodat: $E_k = \frac{1}{2} \cdot 106 \cdot (1640)^2 = 1{,}43 \cdot 10^8$ J

E_{ch} = vrijgekomen energie door het ontbranden van 180 kg buskruit = = 180 · 3,0 MJ [1p] = 180 · 3,0 · 10^6 J = 5,4 · 10^8 J

Invullen: $\eta = \frac{1{,}43 \cdot 10^8}{5{,}4 \cdot 10^8} = 0{,}26 = 26\%$ [1p]

©ThiemeMeulenhoff

4p **4**
- De stopconditie in dit model moet zijn: de granaat raakt de grond. [1p] Ook is goed: als $y \leq 0$ dan stop.
- Als de granaat de loop van het kanon verlaat, werken er twee krachten op: de zwaartekracht $-F_z$ (minteken, want F_z werkt in de negatieve y-richting) en de tegenwerkende wrijvingskracht $-F_{w,y}$
  $\Rightarrow\ F_y = -F_z - F_{w,y}$ [1p]
- A = oppervlakte van de doorsnede van de granaat = $\pi \cdot r^2$ [1p] (Binas 36B), met:

  r = straal van de doorsnede = $\frac{1}{2}$ · diameter = $\frac{1}{2}$ · 20 cm = 10 cm = 0,10 m

  Invullen: $A = \pi \cdot (0{,}10)^2 = 3{,}1 \cdot 10^{-2}$ [1p] (m^2)

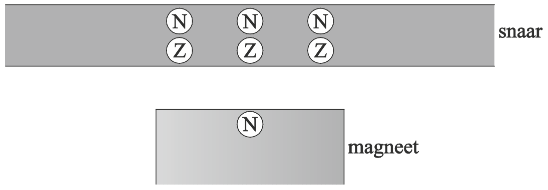
2p **5** De granaat ondervindt onderweg luchtwrijving. Daardoor zal zijn snelheid in de y-richting als hij op de grond komt kleiner zijn dan toen hij werd weggeschoten. [1p] In een (y,t)-diagram vinden we de snelheid op een bepaald tijdstip door op dat tijdstip een raaklijn aan de grafiek te tekenen. Hoe steiler de raaklijn loopt, hoe groter de snelheid. In figuur 4a zien we dat de steilheid van de raaklijn vlak voordat de granaat de grond raakt kleiner is dan bij de start. Dat betekent dat figuur 4a het (y,t)-diagram is. [1p]

3p **6**
- De granaat wordt schuin omhooggeschoten en houdt gedurende zijn vlucht een snelheid in de x-richting. [1p]
- Tijdens de vrije val werken er twee krachten op de granaat: de zwaartekracht (omlaag) en de kracht van de luchtwrijving (tegengesteld aan de bewegingsrichting). Hoe dichter de granaat de aarde nadert, hoe groter de dichtheid van de atmosfeer en hoe groter de luchtwrijving. [1p] Daardoor ondervindt de granaat aan het eind van de beweging zo'n grote luchtwrijvingskracht dat de verticale component van de resulterende kracht tegengesteld is aan de bewegingsrichting. De snelheid van de granaat zal dan afnemen. [1p]

3p **7**
- In het (v,t)-diagram van figuur 5 geeft de oppervlakte onder de grafiek de grootte van de door de granaat afgelegde weg. [1p] De afstand tussen het kanon en de inslag van de granaat is de weg die de granaat horizontaal (dus in de x-richting) heeft afgelegd.
- De granaat beschrijft een kromme baan in de ruimte. Deze baan heeft een grotere lengte dan de rechte baan die de granaat in de x-richting heeft afgelegd. [1p] De afstand die Fabian heeft gevonden is dus te groot. [1p]

Elektrische gitaar

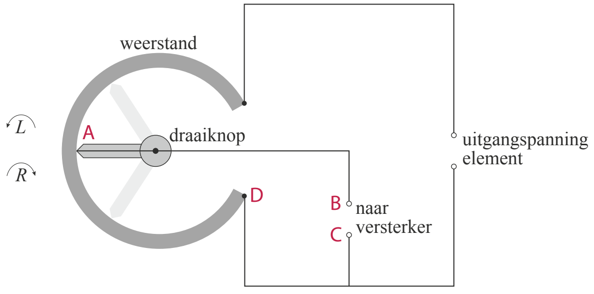
2p **8** Zie tekening 1.
De bovenkant van de permanente magneet is een noordpool (N). Hierdoor zullen aan de onderkant van de roestvrijstalen snaar zuidpolen (Z) ontstaan. [1p] *Daardoor ontstaan er aan de bovenkant van de snaar tegengestelde noordpolen.* [1p]



tekening 1

©ThiemeMeulenhoff

3p **9** Zie tekening 2.
De weerstand AD (A is het uiteinde van de draaiknop) is parallel geschakeld aan de versterker, met aansluitpunten B en C.
Er geldt dus: $U_{AD} = U_{BC}$. [1p]
Als er een kleinere spanning naar de versterker moet worden gestuurd, zal de spanning over de punten A en D dus kleiner moeten worden $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ de weerstand tussen A en D moet kleiner worden. [1p] Dat wordt bereikt door de draaiknop linksom (L) te draaien. [1p]



tekening 2

5p **10** We berekenen de frequentie f van de grondtoon van de E-snaar met:

$v = \lambda \cdot f$ [1p] (Binas 35B2) $\Rightarrow$ $f = \frac{v}{\lambda}$, waarin:

v = golfsnelheid van de golf in de snaar. Er geldt:

$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ en $\mu = \frac{m}{\ell}$ $\Rightarrow$ $v = \sqrt{\frac{F \cdot \ell}{m}}$, met:

F = spankracht in de snaar = $1{,}5 \cdot 10^2$ N
μ = massa per lengte-eenheid van de snaar
m = massa van de snaar
Er geldt: $m = \rho \cdot V$ [1p] (Binas 35C1), met:
ρ = dichtheid van roestvrij staal = $7{,}8 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 9)
V = volume van de snaar = $A \cdot \ell = \pi \cdot r^2 \cdot \ell$ (Binas 36B) =

$= \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \ell$ [1p] $= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \ell$, met:

A = oppervlakte van de doorsnede van de snaar
ℓ = lengte van de snaar = 64,5 cm = $64{,}5 \cdot 10^{-2}$ m
r = straal van de doorsnede van de snaar
d = diameter van de snaar = 1,42 mm = $1{,}42 \cdot 10^{-3}$ m

zodat: $V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (1{,}42 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 64{,}5 \cdot 10^{-2} = 1{,}02 \cdot 10^{-6}$ m^3

zodat: $m = 7{,}8 \cdot 10^3 \cdot 1{,}02 \cdot 10^{-6} = 7{,}96 \cdot 10^{-3}$ kg
ℓ = lengte van de snaar = 64,5 cm = $64{,}5 \cdot 10^{-2}$ m

zodat: $v = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 10^2 \cdot 64{,}5 \cdot 10^{-2}}{7{,}96 \cdot 10^{-3}}} = 110$ m s^{-1}

λ = golflengte van de golf in de snaar. De snaar brengt zijn grondtoon voort, dus geldt: $\ell = \frac{1}{2} \cdot \lambda$ [1p] (Binas 35B2) $\Rightarrow$ $\lambda = 2 \cdot \ell$ met:

ℓ = lengte van de snaar = 64,5 cm = $64{,}5 \cdot 10^{-2}$ m
zodat: $\lambda = 2 \cdot 64{,}5 \cdot 10^{-2} = 1{,}29$ m

Invullen: $f = \frac{110}{1{,}29} = 85$ Hz [1p]

2p **11** We bepalen de frequentie f van de grondtoon van de E-snaar in de z-richting met:

$f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van de snaar
In figuur 5 lezen we af: $4{,}25 \cdot T = 0{,}050$ s $\Rightarrow$ $T = \frac{0{,}050}{4{,}25} = 0{,}118$ s [1p]

Invullen: $f = \frac{1}{0{,}118} = 85$ Hz [1p]

Deze frequentie komt overeen met de frequentie van de grondtoon van de E-snaar.

©ThiemeMeulenhoff

2p **12** Er geldt: $U_{ind} \propto \frac{d\Phi}{dt}$ (Binas 35D4), waarin U_{ind} = opgewekte inductiespanning en $\frac{d\Phi}{dt}$ = fluxverandering per tijdseenheid.
Op het moment dat de snaar door de evenwichtsstand beweegt, is zijn snelheid maximaal [1p] en is dus ook de fluxverandering per tijdseenheid $\frac{d\Phi}{dt}$ maximaal. Op dat moment is dus ook de opgewekte inductiespanning U_{ind} maximaal. [1p]

3p **13** Als de snaar één volledige trilling uitvoert in de z-richting (dus in een richting loodrecht op het element, zie figuur 4), dan wordt de flux in die tijd één keer groter en kleiner. [1p]
Als de snaar één volledige trilling uitvoert in de y-richting (dus in een richting evenwijdig aan het element), dan wordt de flux in die tijd tweemaal groter en kleiner. [1p]
De frequentie van de spanning bij trillen in de y-richting is dus tweemaal zo groot als de frequentie van de spanning bij trillen in de z-richting. [1p]

3p **14** Als element 1 een boventoon niet of nauwelijks detecteert, bevindt zich boven het element een knoop van deze boventoon. [1p] De amplitude van de snaar is dan vrijwel 0. Er bevindt zich ook een knoop bij de brug. Bij de laagste boventoon die niet door element 1 wordt gedetecteerd, is de afstand tussen twee opeenvolgende knopen dus 2,3 cm (opgemeten in de uitwerkbijlage). Deze afstand komt overeen met $\frac{1}{2} \cdot \lambda$

De lengte van de snaar (= afstand tussen de brug en de topkam) is 9,2 cm (opgemeten in de uitwerkbijlage).

Nu geldt: $\frac{9{,}2}{2{,}3} = 4{,}0$. [1p] Er passen dus 4 halve golflengtes (= 2 hele golflengtes) op de snaar. Dit is de derde boventoon van de snaar.
Het juiste antwoord is dus **b derde boventoon**. [1p]

Voorwaarde voor een staande golf bij twee vaste uiteinden: $\ell = n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ *(Binas 35B2)*

grondtoon: $n = 1 \Rightarrow \ell = \frac{1}{2}\lambda$
1e boventoon: $n = 2 \Rightarrow \ell = \lambda$
2e boventoon: $n = 3 \Rightarrow \ell = 1\frac{1}{2}\lambda$
3e boventoon: $n = 4 \Rightarrow \ell = 2\lambda$

Elektronendiffractie

3p **15** Voor de debroglie-golflengte λ geldt: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$ [1p] (Binas 35E4 en 35A3) (1)

waarin $p = m \cdot v$ = impuls van het elektron.
Bij het versnellen van het elektron wordt elektrische energie E_{el} omgezet in kinetische energie E_k:

$\Delta E_{el} = \Delta E_k \Rightarrow e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ [1p] (Binas 35D2 en 35A4) $\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}}$ (2)

(2) invullen in (1): $\lambda = \frac{h}{m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot e \cdot m \cdot U}}$ [1p]

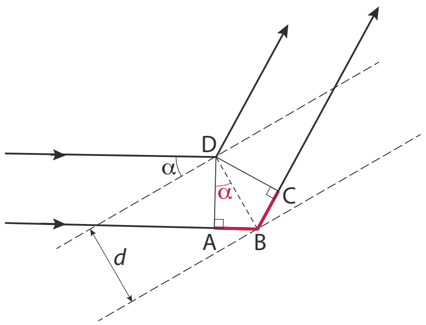
©ThiemeMeulenhoff

2p **16** Voor de debroglie-golflengte λ geldt: $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2 \cdot e \cdot m \cdot U}}$, waarin:

h = constante van Planck = 6,63 · 10^{-34} J s (Binas 7A)
e = lading van een elektron = 1,60 · 10^{-19} C (Binas 7A)
m = massa van een elektron = 9,11 · 10^{-31} kg [1p] (Binas 7B)
U = versnelspanning = 5,0 kV = 5,0 · 10^3 V

Invullen: $\lambda = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{3}}} = 1{,}7 \cdot 10^{-11}$ m [1p]

4p **17** Zie tekening 1.
- Het verschil in weglengte tussen de twee stralen is in de tekening aangegeven met de rode lijnstukken AB en BC. [1p]
- Er treedt constructieve interferentie (versterking) op als het weglengteverschil tussen de twee stralen een geheel aantal malen de golflengte λ is:
  weglengteverschil $\Delta s = n \cdot \lambda$ [1p]
  met n = 1, 2, 3, ...
  Nu geldt dat $\angle ADB = \alpha$, zodat:
  $\sin \alpha = \dfrac{AB}{DB}$ [1p] $\Rightarrow$ $AB = DB \cdot \sin \alpha$ $\Rightarrow$ $AB = d \cdot \sin \alpha$
  dus: $\Delta s = AB + BC = AB + AB = 2 \cdot AB = 2 \cdot d \cdot \sin \alpha$
  $\Rightarrow$ $2 \cdot d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$ met n = 1, 2, 3, ... [1p]
  Ga zelf na dat $\angle ADB = \alpha$

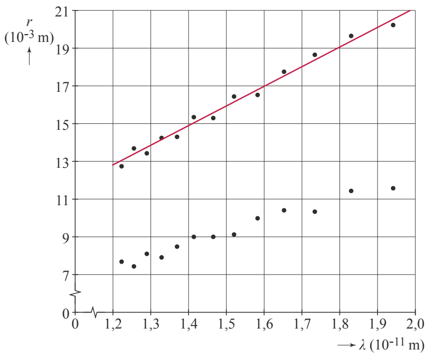


tekening 1

2p **18** Bij een polykristallijne laag geldt ook dat er constructieve interferentie optreedt als geldt: $2 \cdot d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$ [1p]
Als de debroglie-golflengte λ hetzelfde blijft, zal bij lijnen die een kleinere afstand d ten opzichte van elkaar hebben de factor sin α dus groter zijn. Dan is de hoek α dus ook groter.
De kleinere afstand d_1 hoort dus bij de buitenste ring. [1p]

2p **19** Bij lage versnelspanningen U zal de snelheid v van de elektronen kleiner zijn ($e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$; zie antwoord 15). Dan zal volgens $\lambda = \dfrac{h}{m \cdot v}$ (Binas 35E4) de debroglie-golflengte λ groter zijn. [1p] Bij te grote waarden van λ zal er geen constructieve interferentie optreden. [1p]
Voor het weglengteverschil Δs tussen twee stralen geldt: $\Delta s = 2 \cdot d \cdot \sin \alpha = \lambda$
Het weglengteverschil tussen twee stralen kan dus maximaal gelijk zijn aan 2d (dan is sin α = 1). λ moet dus kleiner zijn dan 2d.

4p **20** Zie tekening 2.
We bepalen de grootte van d voor de buitenste ring door gebruik te maken van de bovenste reeks metingen. Teken een rechte lijn die zo goed mogelijk door de meetpunten gaat. [1p]



tekening 2

Er geldt: $r = \dfrac{2 \cdot R}{d} \cdot n \cdot \lambda$, waarin $n = 1$ $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ $r = \dfrac{2 \cdot R}{d} \cdot \lambda$
Nu geldt:
helling $= \dfrac{2 \cdot R}{d}$ [1p] =
$= \dfrac{21 \cdot 10^{-3} - 13 \cdot 10^{-3}}{1{,}98 \cdot 10^{-11} - 1{,}22 \cdot 10^{-11}}$ [1p] =
$= 1{,}05 \cdot 10^{9}$ $\Rightarrow$ $d = \dfrac{2 \cdot R}{1{,}05 \cdot 10^{9}}$, waarin:

R = straal van de bol van de diffractiebuis = 65 mm = 65 · 10^{-3} m
Invullen: $d = \dfrac{2 \cdot 65 \cdot 10^{-3}}{1{,}05 \cdot 10^{9}} = 1{,}2 \cdot 10^{-10}$ m [1p]

Gamma-chirurgie

3p **21** ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^{0}_{-1}\text{e} + 2\,{}^{0}_{0}\gamma$
- *Kobalt (Co) heeft atoomnummer 27 (Binas 25A, 40A of 99).*
- *β^--straling (elektronen) wordt aangegeven met ${}^{0}_{-1}$e.* [1p]
- *Links en rechts van de $\rightarrow$ moet de som van de atoomnummers gelijk zijn. De kern die ontstaat heeft dus atoomnummer 27 – (–1) = 28.*
  Dit is het element nikkel (Ni) (Binas 25A, 40A of 99).
- *Links en rechts van de $\rightarrow$ moet de som van de massagetallen gelijk zijn. Het massagetal van Ni-28 is dus 60 – 0 = 60.* [1p]
- *Bij dit verval komen twee fotonen $\left({}^{0}_{0}\gamma\right)$ vrij (γ_1 en γ_2).* [1p]

3p **22** De golflengte λ van γ_2 berekenen we met:
$E_{\gamma_2} = h \cdot f = \dfrac{h \cdot c}{\lambda}$ [1p] (Binas 35E2) $\Rightarrow$ $\lambda = \dfrac{h \cdot c}{E_{\gamma_2}}$, waarin:
E_{γ_2} = energie van de γ-straling = 1,33 MeV = 1,33 · 10^6 · 1,602 · 10^{-19} J [1p] (Binas 5)
h = constante van Planck = 6,626 · 10^{-34} J s (Binas 7A)
f = frequentie van de γ-straling
c = lichtsnelheid = 2,998 · 10^8 m s^{-1} (Binas 7A)
Invullen: $\lambda = \dfrac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}}{1{,}33 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 9{,}32 \cdot 10^{-13}$ m [1p]

4p **23** We berekenen de massa m van het kobalt-60 in een bron met:
$m = N \cdot m_{at}$ [1p], waarin:
N = aantal radioactieve kernen in de bron

Er geldt: $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$ [1p] (Binas 35E3) $\Rightarrow$ $N = \frac{A \cdot t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2}$, met:

A = activiteit van kobalt-60 in de bron = 1,1 TBq = $1{,}1 \cdot 10^{12}$ Bq (Binas 2)
$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd van kobalt-60 = 5,27 y [1p] (Binas 25A) =
= $5{,}27 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7$ s (Binas 5)

zodat: $N = \frac{1{,}1 \cdot 10^{12} \cdot 5{,}27 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7}{\ln 2} = 2{,}63 \cdot 10^{20}$

m_{at} = atoommassa van ${}^{60}_{27}Co = 60 \cdot u$ (u = atomaire massa-eenheid, Binas 7B) =
= $60 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg
Invullen: $m = 2{,}63 \cdot 10^{20} \cdot 60 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 2{,}6 \cdot 10^{-5}$ kg [1p]

5p **24** We berekenen de tijd t die de patiënt moet worden bestraald met:
$t = \frac{D_{nodig}}{D_{1s}}$, waarin:
D_{nodig} = benodigde stralingsdosis = 150 Gy
D_{1s} = stralingsdosis in één seconde

Er geldt: $D_{1s} = \frac{E_{1s}}{m}$ [1p] (Binas 35E3), met:

E_{1s} = hoeveelheid geabsorbeerde energie in de tumor in één seconde
Per seconde worden door de tumor $3{,}5 \cdot 10^9$ γ-fotonparen geabsorbeerd.
Bij het radioactief verval komen er twee γ-fotonen vrij:
één foton met een energie van (1,48 – 0,31) MeV = 1,17 MeV en
één foton met een energie van 1,33 MeV (zie figuur 2, manier 1).
Dat is per verval: 1,17 + 1,33 = 2,50 MeV [1p] $\Rightarrow$
$\Rightarrow E_{1s} = 3{,}5 \cdot 10^9 \cdot 2{,}50 \text{ MeV} = 3{,}5 \cdot 10^9 \cdot 2{,}50 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ (Binas 5) =
= $1{,}40 \cdot 10^{-3}$ J
m = massa van de tumor. Er geldt: $m = \rho \cdot V$ [1p] (Binas 35C1), met:
ρ = dichtheid van de tumor = dichtheid van water =
= $0{,}998 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 11)

V = volume van de tumor = $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ [1p] (Binas 36B), met:

r = straal van de bol = $\frac{1}{2}$ · diameter van de bol =

= $\frac{1}{2} \cdot 3{,}0$ cm = 1,5 cm = $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ m

zodat: $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (1{,}5 \cdot 10^{-2})^3 = 1{,}41 \cdot 10^{-5}$ m^3

zodat: $m = 0{,}998 \cdot 10^3 \cdot 1{,}41 \cdot 10^{-5} = 1{,}41 \cdot 10^{-2}$ kg

zodat: $D_{1s} = \frac{1{,}40 \cdot 10^{-3}}{1{,}41 \cdot 10^{-2}} = 9{,}93 \cdot 10^{-2}$ Gy

Invullen: $t = \frac{150}{9{,}93 \cdot 10^{-2}} = 1{,}5 \cdot 10^3$ s [1p] (= $\frac{1{,}5 \cdot 10^3}{60}$ min = 25 min)

2p **25** In de loop van een aantal jaren zal de activiteit van kobalt-60 door het radioactieve verval kleiner worden (de halveringstijd van kobalt-60 is 5,27 y). [1p] De door de bronnen uitgestraalde energie zal afnemen en de tumor zal dus minder energie absorberen. Om toch een gelijke stralingsdosis te realiseren, moet de patiënt dus langer worden bestraald. [1p]

©ThiemeMeulenhoff

Oefenen met het examen van 2021-I.
De antwoorden en uitwerkingen vind je op mijn.examenbundel.nl.

Deel 2b Examen zonder uitwerkingen

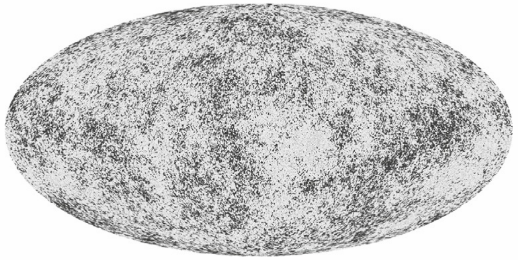
Bronvermelding
Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift op mijn.examenbundel.nl.

Examen 2021-I

Planck

Kosmische achtergrondstraling is de straling die in het jonge heelal als warmtestraling ontstond. De meest gedetailleerde kaart van de kosmische achtergrondstraling laat intensiteitsverschillen van slechts $0{,}001\%$ zien (zie figuur 1). De beelden konden verzameld worden dankzij de Planck-satelliet van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA. De kosmische achtergrondstraling wordt nu waargenomen als microgolfstraling.

figuur 1

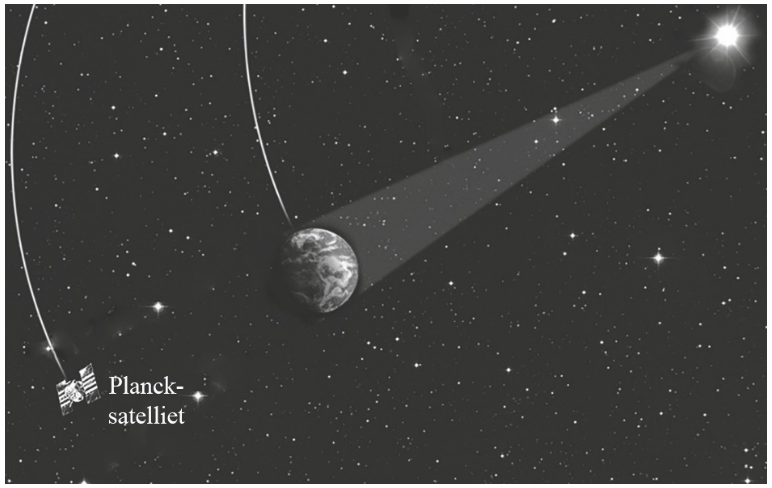


De opnamen voor de kaart van figuur 1 kunnen vanwege de aardatmosfeer niet vanaf het aardoppervlak gemaakt zijn.

1p **1** Geef hiervoor een reden.

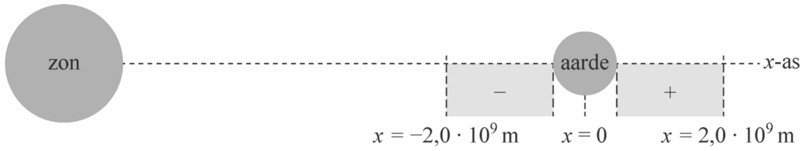
De Planck-satelliet draait rondjes om de zon. Hij heeft zijn metingen verricht vanuit een speciaal punt in de ruimte: het Lagrangepunt L_2. Het Lagrangepunt L_2 ligt in het verlengde van de verbindingslijn van de zon naar de aarde en in dit punt is de omlooptijd van de satelliet gelijk aan die van de aarde. Zie figuur 2.

figuur 2



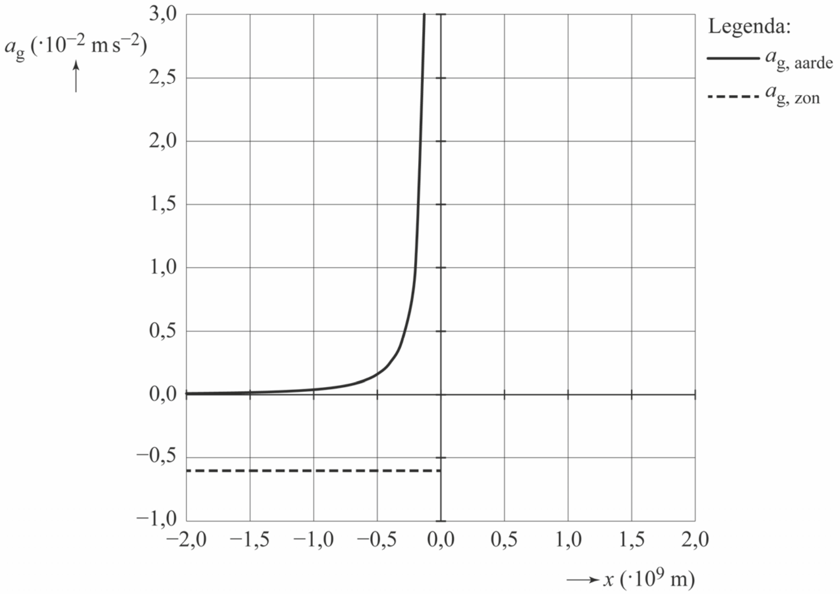
Thijs voert een modelstudie uit om te bepalen op welke afstand van de aarde het Lagrangepunt L_2 zich bevindt. In zijn model is de x-as de verbindingslijn van de zon naar de aarde. Thijs beperkt zich in zijn onderzoek tot het gebied op de x-as waarvoor geldt dat de afstand $|x|$ tot het middelpunt van de aarde kleiner is dan $2{,}0 \cdot 10^9$ m en groter dan of gelijk aan de straal van de aarde. Zie figuur 3. Deze figuur is niet op schaal. In zijn model definieert Thijs de richting naar rechts in de figuur als positief. Hoewel het Lagrangepunt L_2 rechts van de aarde ligt, bekijkt Thijs dus ook wat er gebeurt bij negatieve waarden van x.

figuur 3



Thijs berekent met zijn model hoe de gravitatieversnelling ten gevolge van de zon, $a_{g,\,zon}$, en die ten gevolge van de aarde, $a_{g,\,aarde}$, afhangen van x (zie figuur 4).

figuur 4



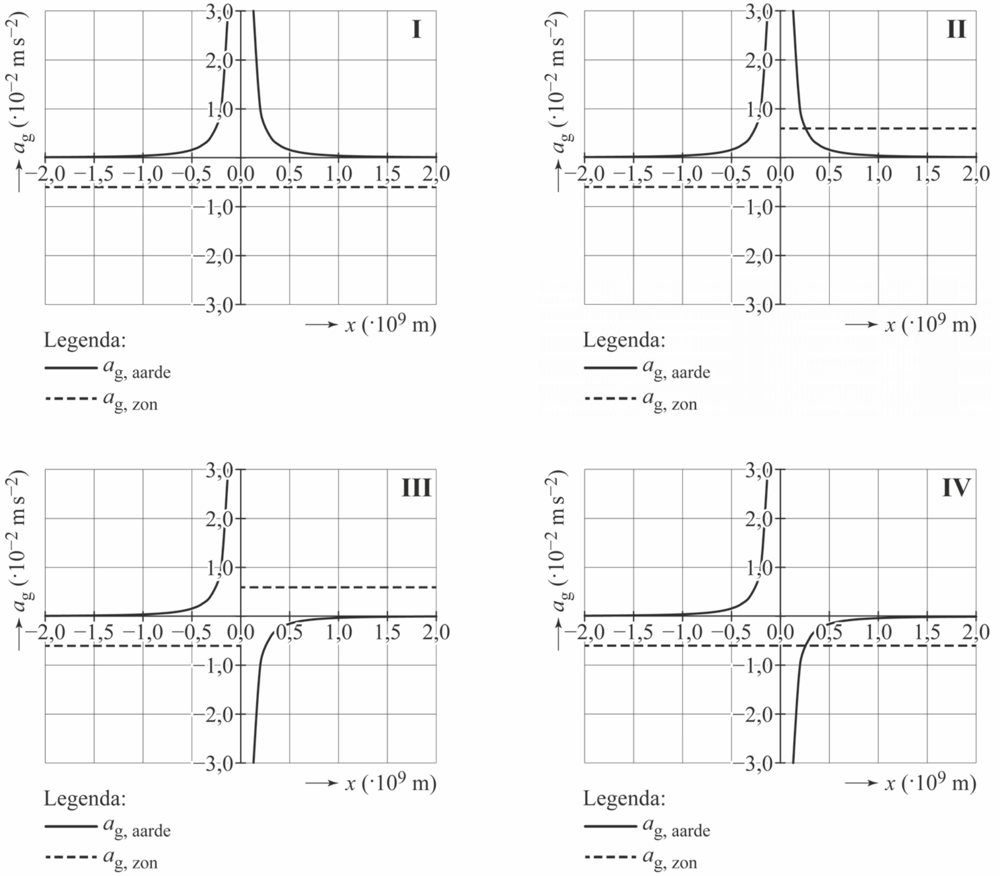
Thijs heeft ervoor gezorgd dat zijn model zo goed mogelijk aan de werkelijkheid voldoet.

2p **2** Beantwoord de volgende twee vragen:
- Bij welke $|x|$ wordt de waarde van $a_{g,\,aarde}$ maximaal in het model?
- Geef de grootte van deze maximale waarde van $a_{g,\,aarde}$.

Van de modelwaarden van $a_{g,\,zon}$ en $a_{g,\,aarde}$ zijn in figuur 4 alleen de grafieklijnen bij negatieve waarden van x weergegeven. In figuur 5 zijn vier mogelijkheden gegeven van hoe de gehele grafiek, tot $x = 2{,}0 \cdot 10^9$ m, kan lopen.

3p **3** Leg uit welke van de vier grafieken (I, II, III of IV) de situatie juist weergeeft.

figuur 5



Als een voorwerp een cirkelbeweging om een hemellichaam beschrijft, geldt de volgende formule:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{a}} \qquad (1)$$

Hierin is:
- T de omlooptijd om het hemellichaam in s
- r de baanstraal in m
- a de grootte van de gravitatieversnelling ten gevolge van het hemellichaam in m s^{-2}

4p **4** Leid formule (1) af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.

De Planck-satelliet in het Lagrangepunt L_2 ondervindt zowel een gravitatiekracht van de zon als een gravitatiekracht van de aarde. Als gevolg daarvan luidt de formule voor de omlooptijd van de satelliet als volgt:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{a_{\text{g, res}}}} \qquad (2)$$

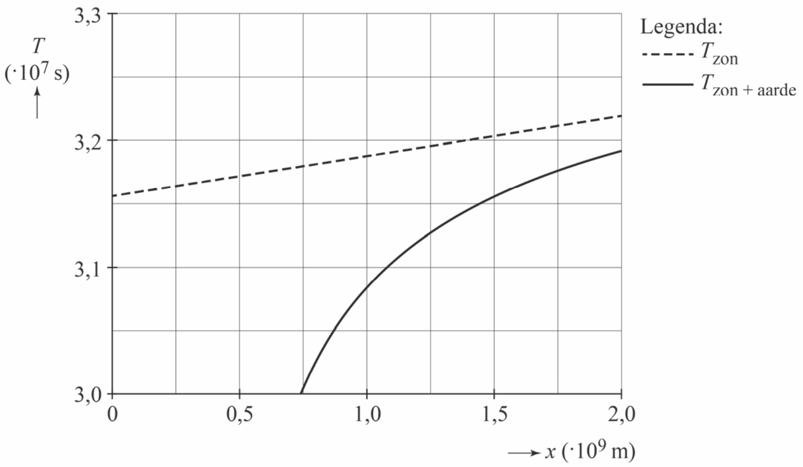
Hierin is:
- T de omlooptijd om de zon in s
- r de baanstraal in m
- $a_{\text{g, res}}$ de grootte van de gravitatieversnelling ten gevolge van de resulterende gravitatiekracht in m s^{-2}

De baanstraal van de Planck-satelliet in het Lagrangepunt L_2 is groter dan de baanstraal van de aarde. Toch is de omlooptijd T van de Planck-satelliet gelijk aan die van de aarde.

2p **5** Leg dat uit met behulp van formule (2).

Om te bepalen op welke afstand van de aarde het Lagrangepunt L_2 zich bevindt, berekent Thijs met zijn model bij verschillende waarden van x de omlooptijd T om de zon van een voorwerp dat zich bevindt op de verbindingslijn van de zon naar de aarde. Hij beperkt zich tot alleen de positieve waarden van x. Zijn resultaten zijn weergegeven in figuur 6. Figuur 6 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 6

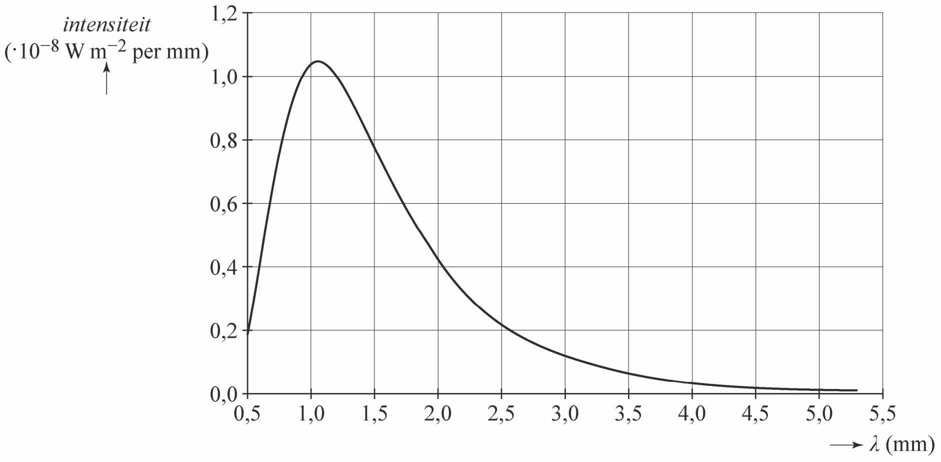


T_{zon} is de berekende omlooptijd als alleen de zon aanwezig zou zijn.
$T_{\text{zon + aarde}}$ is de berekende omlooptijd als er rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van zowel de zon als de aarde.

3p **6** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand van het Lagrangepunt L_2 tot het midden van de aarde.

De Planck-satelliet verrichtte metingen vanuit het Lagrangepunt L_2. In figuur 7 staat de stralingskromme van de kosmische achtergrondstraling die de satelliet heeft gemeten.

figuur 7



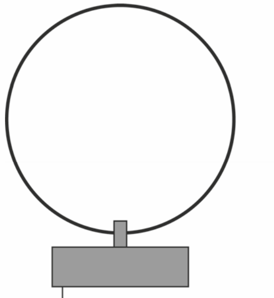
De temperatuur van de kosmische achtergrondstraling is gedefinieerd als de temperatuur van een voorwerp met de stralingskromme van figuur 7.

3p **7** Bepaal de temperatuur van de kosmische achtergrondstraling.

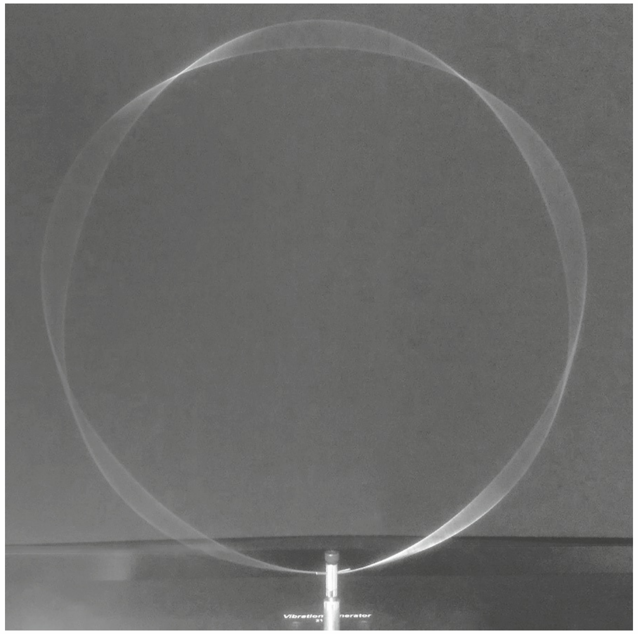
Cirkelgolf

Roland en Arno bouwen de opstelling zoals schematisch weergegeven in figuur 1. In deze opstelling is een toongenerator verbonden met een trillingsapparaat. Aan het trillingsapparaat is een cirkelvormige metalen lus gekoppeld. Deze lus heeft een diameter van 24,5 cm.
Bij bepaalde ingestelde frequenties op de toongenerator ontstaat er een staande golf in de cirkelvormige lus. In figuur 2 is een voorbeeld van zo'n staande golf te zien.

figuur 1



figuur 2



De plek waar de lus aan het trillingsapparaat bevestigd is, mag beschouwd worden als een knoop.
Roland en Arno trekken op basis van figuur 2 de conclusie dat de golfsnelheid in de lus niet overal gelijk kan zijn.

2p **8** Leg uit hoe dit volgt uit figuur 2 met behulp van een formule uit een tabellenboek.

Op het moment dat de foto van figuur 2 gemaakt werd, stond de toongenerator ingesteld op 69 Hz.

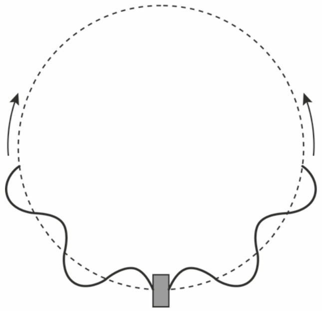
4p **9** Bepaal de gemiddelde golfsnelheid in de lus bij deze frequentie.

Roland en Arno variëren de frequentie van de toongenerator en kijken wanneer er een staande golf in de lus ontstaat. Hun waarnemingen staan in figuur 3.

figuur 3

aantal buiken	f (Hz)
3	19
5	69
7	$1{,}6 \cdot 10^2$
9	$2{,}6 \cdot 10^2$
11	$3{,}8 \cdot 10^2$

figuur 4



Het valt Roland en Arno op dat er alleen staande golven met een oneven aantal buiken in de lus ontstaan. In het bovenste punt van de lus ontstaat dus altijd een buik.
In de lus beweegt een golf in de richting van de wijzers van de klok en een golf in de tegengestelde richting. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4.
Deze twee lopende golven interfereren met elkaar. Op plaatsen met constructieve interferentie ontstaan buiken en op plaatsen met destructieve interferentie ontstaan knopen.

3p **10** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit dat er in het bovenste punt van de lus alleen een buik kan ontstaan.
- Geef aan waarom er in die situatie alleen staande golven kunnen ontstaan met een oneven aantal buiken.

Roland en Arno gaan op zoek naar het verband tussen de frequentie van het trillingsapparaat en het aantal buiken dat in de lus ontstaat. Uit de meetresultaten in figuur 3 trekken ze de conclusie dat er onmogelijk sprake kan zijn van een recht evenredig verband.

3p **11** Toon met een berekening aan dat die conclusie juist is.

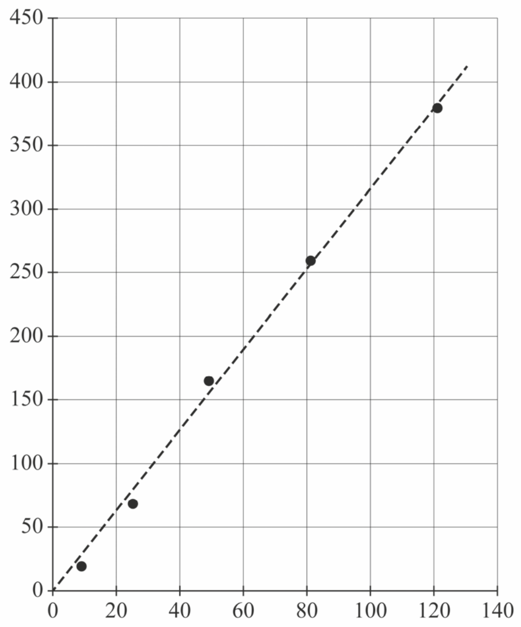
Via een trial-and-errormethode komen Roland en Arno tot het volgende verband tussen de frequentie en het aantal buiken in de lus:

$$f = cn^2 \qquad (1)$$

Hierin is:
- f de frequentie in Hz
- c een constante
- n het aantal buiken in de lus

In de grafiek van figuur 5 staan de meetresultaten uit figuur 3 grafisch weergegeven na een coördinatentransformatie. Het bijschrift bij beide assen is nog niet gegeven.

figuur 5



5p **12** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef het bijschrift dat vermeld moet worden bij de horizontale as.
- Geef het bijschrift dat vermeld moet worden bij de verticale as.
- Bepaal met behulp van figuur 5 de constante c in formule (1). Geef je antwoord in drie significante cijfers en met de juiste eenheid.

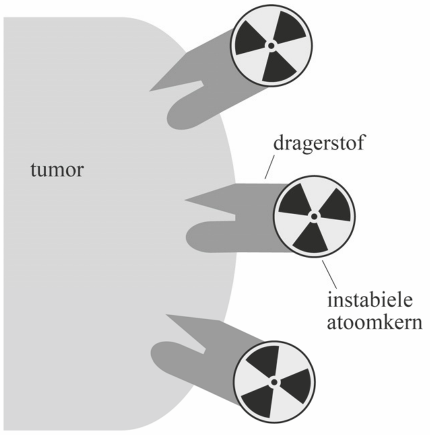
Roland en Arno vragen zich af of de constante c wel in drie significante cijfers mag worden opgegeven. Roland denkt dat de waarde moet worden opgegeven in één significant cijfer omdat het aantal buiken ook in één significant cijfer is opgegeven. Arno denkt dat met de gebruikte methode de waarde in drie significante cijfers kan worden opgegeven, hoewel de frequenties in twee significante cijfers zijn bepaald.

3p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan waarom Roland geen gelijk heeft.
- Leg uit dat de gedachte van Arno verdedigbaar is.

Alfanuclidetherapie

In de nuclidetherapie worden tumoren van binnen in het lichaam bestraald met behulp van instabiele atoomkernen. Deze atoomkernen kunnen alfa- of bètastralers zijn.
Door de instabiele atoomkernen te koppelen aan een zogenaamde dragerstof, een stof die zich specifiek aan de tumor kan hechten, kan een heel gerichte bestraling worden bereikt. Zie figuur 1.
Bij het afremmen van de alfa- of bètadeeltjes tijdens hun weg door het tumorweefsel, komt energie vrij. Wanneer deze energie plaatselijk groot genoeg is, zal dat leiden tot het afsterven van tumorcellen.

figuur 1



De hoeveelheid energie die een ioniserend deeltje per eenheid van weglengte afgeeft aan de omringende materie wordt de LET-waarde genoemd. LET staat voor 'lineaire energie-overdracht' en is gedefinieerd volgens:

$$LET\text{-waarde} = -\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}x} \qquad (1)$$

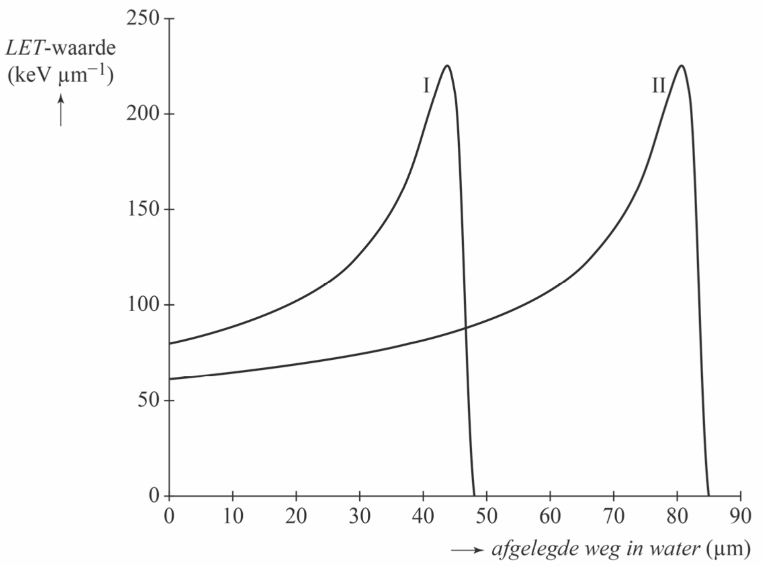
Hierin is:
- E de energie in keV
- x de weglengte in $\mu\mathrm{m}$

De LET-waarde kan ook geïnterpreteerd worden als de 'stopkracht' die werkt op het deeltje. De eenheid van LET-waarde is $\mathrm{keV}\ \mu\mathrm{m}^{-1}$.

2p **14** Leid af dat ook newton (N) een eenheid van LET-waarde is.

Alfastralers leiden in het algemeen tot hogere LET-waarden dan bètastralers, en zijn om die reden geschikter voor nuclidetherapie.
Van twee alfastralers, I en II, is gemeten hoe de LET-waarde varieert met de afgelegde weg in water. Zie figuur 2. Het gedrag in water is vergelijkbaar met dat in weefsel.

figuur 2



In figuur 2 is te zien dat de LET-waarde een maximum heeft. Voordat dit maximum bereikt wordt, geldt voor een alfadeeltje: hoe lager de snelheid, hoe hoger de LET-waarde.

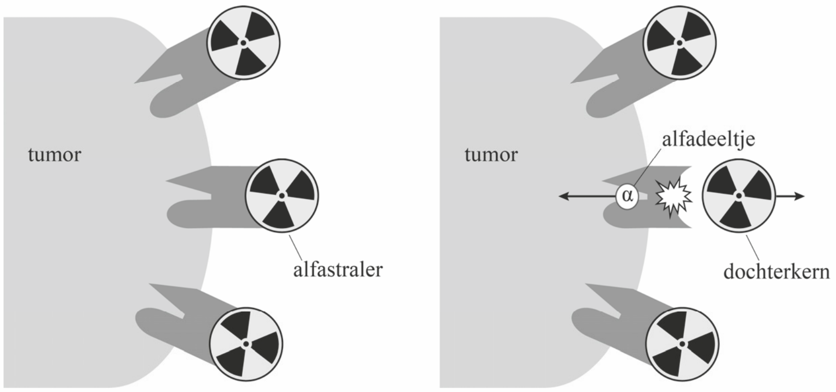
2p **15** Leg dit uit met behulp van figuur 2.

De alfadeeltjes van alfastraler I hebben bij binnenkomst een hogere LET-waarde dan de alfadeeltjes van alfastraler II. Alfadeeltjes van alfastraler I komen dus met een lagere kinetische energie het water in dan alfadeeltjes van alfastraler II.

4p **16** Leg uit op welke andere **twee** manieren dat is af leiden uit figuur 2.

Alfastralers zijn geschikter voor nuclidetherapie dan bètastralers, maar ze kennen ook een praktisch nadeel dat bij het gebruik van bètastralers niet optreedt. Het uitzenden van een alfadeeltje leidt tot een grote terugslag van de dochterkern. Door deze terugslag kan de dochterkern zich losrukken van de dragerstof. Een dochterkern is zelf vaak ook instabiel. Zie de schematische weergave in figuur 3.

figuur 3



2p **17** Leg uit welk nadeel er optreedt voor de patiënt wanneer de dochterkern loskomt van de dragerstof.

De grootte van de terugslag is recht evenredig met de grootte van de impuls van het uitgezonden deeltje.
Voor de impuls van een deeltje geldt:

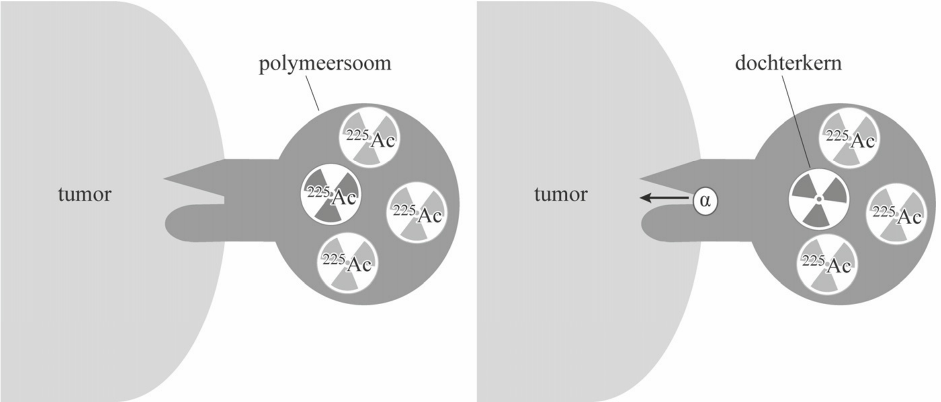
$$p = \sqrt{2E_k m} \qquad (2)$$

Hierin is:
- p de impuls in kg m s^{-1}
- E_k de kinetische energie in J
- m de massa in kg

5p **18** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid formule (2) af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.
- Toon aan dat, bij gelijke energieën, de impuls van een alfadeeltje 85 maal zo groot is als de impuls van een bètadeeltje.

Om te voorkomen dat de dochterkern zich losrukt van de dragerstof, is aan de TU Delft onderzocht of het mogelijk is om alfastralers in te kapselen in kleine bolletjes, zogenaamde polymeersomen. De dochterkernen van de alfastralers blijven dan gevangen in het polymeersoom. Als alfastraler wordt vaak Actinium-225 gebruikt. In figuur 4 is dit schematisch weergegeven.

figuur 4

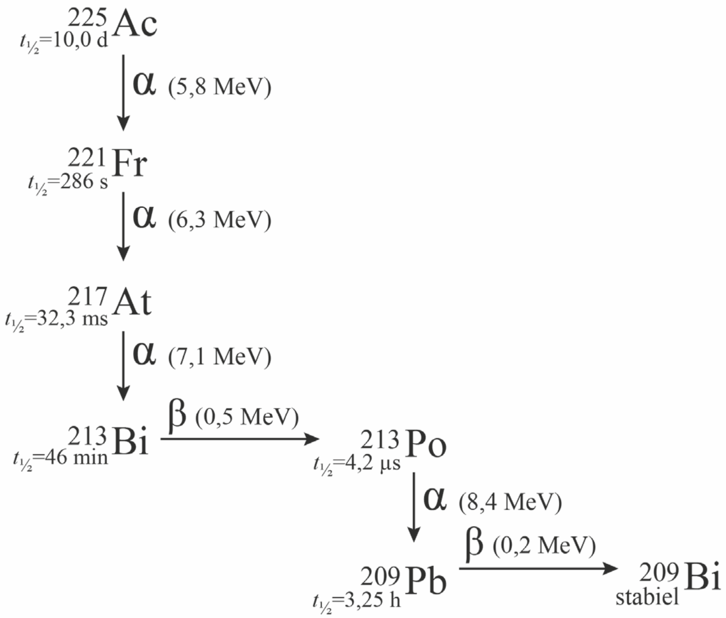


Er zijn tests uitgevoerd met polymeersomen die bij inbreng in het lichaam elk een hoeveelheid Actinium-225 bevatten met een activiteit van 0,10 kBq.

4p **19** Bereken de massa Actinium-225 per polymeersoom bij inbreng in het lichaam.

In figuur 5 is de meest voorkomende vervalreeks gegeven van Actinium-225 tot aan het stabiele Bismuth-209.

figuur 5



Het dosisequivalent dat de tumor ontvangt, wordt groter doordat de dochterkernen van Actinium-225 gevangen blijven in het polymeersoom.

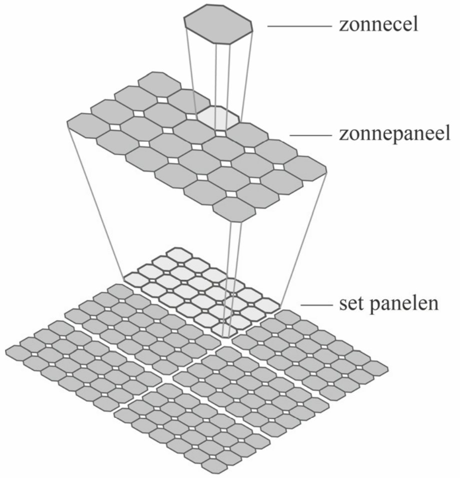
4p **20** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef twee redenen waarom er in de bepaling van het dosisequivalent alleen rekening gehouden hoeft te worden met het alfaverval.
- Bepaal, met behulp van figuur 5, hoeveel keer zo groot dit dosisequivalent is bij gebruik van een polymeersoom.

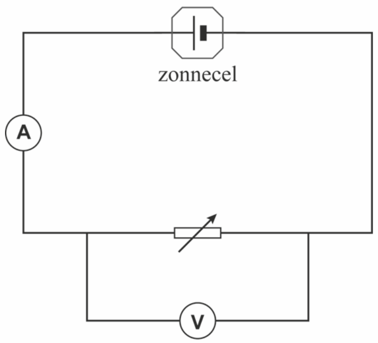
Zonnepanelen

Een zonnepaneel bestaat uit een aantal zonnecellen die in serie geschakeld zijn. Zonnepanelen kunnen weer in een grotere schakeling opgenomen worden en bijvoorbeeld op een dak geplaatst worden. Zie figuur 1. Femke en Lotta onderzoeken hoe het vermogen dat een zonnecel levert, afhangt van de grootte van de weerstand die erop is aangesloten. Ze leggen één zonnecel in de zon. Op de zonnecel schijnt de zon met een constante intensiteit. Ze sluiten een variabele weerstand op de zonnecel aan en meten dan de stroom door en de spanning over de zonnecel. Zie figuur 2. Ze berekenen het vermogen dat de zonnecel levert en zetten hun resultaten in een grafiek, zie figuur 3.

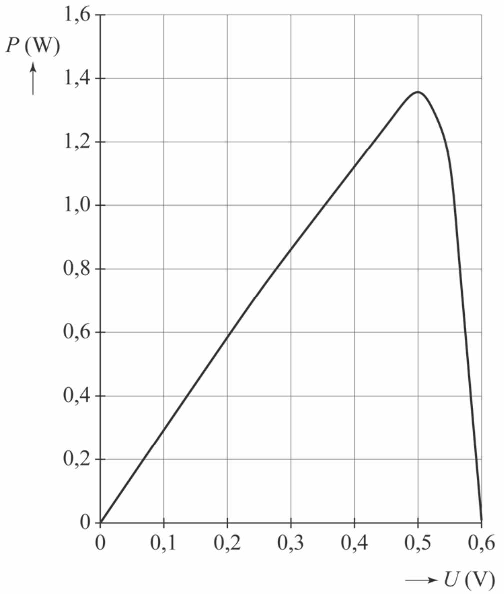
figuur 1



figuur 2



figuur 3



Bij een spanning van $0{,}50\ \mathrm{V}$ is het vermogen dat de zonnecel levert maximaal. De stroomsterkte is dan $2{,}7\ \mathrm{A}$.

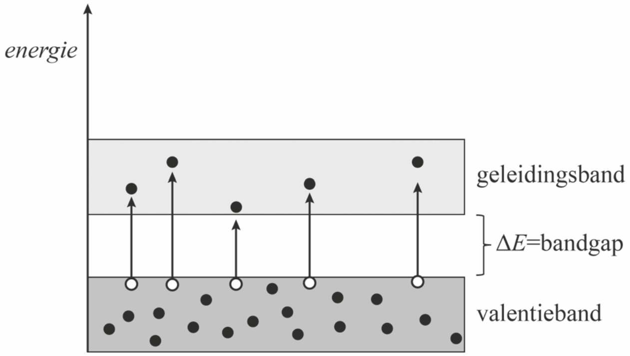
3p **21** Toon dat aan.

Eén zonnepaneel bestaat uit 24 zonnecellen die in serie geschakeld zijn. De spanning van elke zonnecel wordt stabiel op $0{,}50\ \mathrm{V}$ gehouden. Op de uitwerkbijlage staat een vereenvoudigd symbool van één zonnepaneel getekend.

5p **22** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon aan dat de spanning over één zonnepaneel $12\ \mathrm{V}$ is.
- Teken op de uitwerkbijlage nog 5 zonnepanelen en verbind de 6 zonnepanelen zodat ze gezamenlijk een spanning van $36\ \mathrm{V}$ leveren.
- Bereken de stroomsterkte die deze schakeling levert als elk paneel belicht wordt met dezelfde zonne-intensiteit als in het onderzoek van Femke en Lotta.

Een zonnecel is gemaakt van een zogenaamd halfgeleidermateriaal. In een halfgeleider kan een elektron slechts in banden van zeer dicht bij elkaar gelegen energieniveaus bestaan. Twee van zulke banden zijn de valentieband en de geleidingsband. Daartussen zit bij een halfgeleider een energiesprong, de zogeheten bandgap (zie figuur 4). In de grondtoestand is de valentieband volledig bezet met elektronen. De geleidingsband is dan nog niet met elektronen bezet.

figuur 4



Een foton kan één elektron vrijmaken uit het atoomrooster. Dit gebeurt alleen als de energie van dat foton groot genoeg is (groter dan de bandgap). Het elektron gaat dan van een energieniveau in de valentieband naar een energieniveau in de geleidingsband. Als er elektronen in de geleidingsband zitten, wordt het materiaal geleidend en kan er een stroom gaan lopen.

Femke merkt op dat het bovenstaande proces lijkt op het foto-elektrisch effect.

2p **23** Geef een overeenkomst **en** een verschil tussen het bovenstaande proces en het foto-elektrisch effect.

figuur 5

materiaal	bandgap in eV
CdTe	1,58
Ge	0,72
InSb	0,23
PbSe	0,27
Si	1,10
ZnS	3,60
ZnSe	2,70

In figuur 5 staat voor verschillende materialen de bandgap weergegeven. Femke en Lotta gebruiken een zonnecel gemaakt van silicium. Een bepaald foton brengt een elektron in de geleidingsband van deze zonnecel.

3p **24** Bepaal met behulp van figuur 5 wat de golflengte van dit foton maximaal kan zijn.

Zonlicht bestaat uit fotonen van verschillende energieën. Fotonen met meer energie dan nodig is om de bandgap te overbruggen, geven het overschot van hun energie af in de vorm van warmte. Hiermee daalt het rendement van een zonnecel. Om het rendement te verhogen worden dunne laagjes van andere halfgeleiders op het silicium aangebracht. Deze laagjes zijn zo dun dat fotonen erdoorheen kunnen gaan.

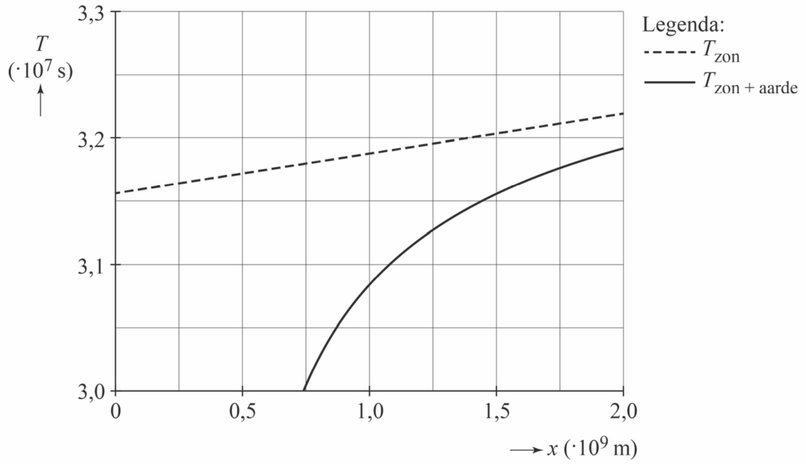
Op de uitwerkbijlage staat schematisch een dwarsdoorsnede van een zonnecel getekend, met drie dunne laagjes op het silicium. Ieder laagje is gemaakt van een ander materiaal uit figuur 5.

4p **25** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef op de uitwerkbijlage in iedere laag aan van welk materiaal uit figuur 5 deze laag gemaakt is.
- Leg je antwoord uit.

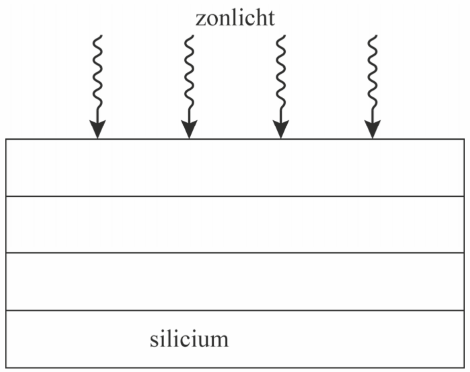
Uitwerkbijlage bij de vragen 6, 22 en 25

6



22

25



Bijlagen

Cijferbepaling

2016-II

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	7,2
1	1,2	47	7,3
2	1,5	48	7,5
3	1,7	49	7,6
4	2,0	50	7,7
5	2,2	51	7,8
6	2,4	52	7,9
7	2,5	53	8,1
8	2,7	54	8,2
9	2,8	55	8,3
10	2,9	56	8,4
11	3,0	57	8,5
12	3,1	58	8,7
13	3,3	59	8,8
14	3,4	60	8,9
15	3,5	61	9,0
16	3,6	62	9,1
17	3,7	63	9,3
18	3,9	64	9,3
19	4,0	65	9,4
20	4,1	66	9,5
21	4,2	67	9,5
22	4,3	68	9,6
23	4,5	69	9,6
24	4,6	70	9,7
25	4,7	71	9,8
26	4,8	72	9,8
27	4,9	73	9,9
28	5,1	74	9,9
29	5,2	75	10,0
30	5,3		
31	5,4		
32	5,5		
33	5,7		
34	5,8		
35	5,9		
36	6,0		
37	6,1		
38	6,3		
39	6,4		
40	6,5		
41	6,6		
42	6,7		
43	6,9		
44	7,0		
45	7,1		

2017-I

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,6
1	1,1	47	6,7
2	1,1	48	6,8
3	1,3	49	6,9
4	1,4	50	7,1
5	1,5	51	7,2
6	1,6	52	7,3
7	1,8	53	7,4
8	1,9	54	7,6
9	2,0	55	7,7
10	2,1	56	7,8
11	2,3	57	7,9
12	2,4	58	8,1
13	2,5	59	8,2
14	2,6	60	8,3
15	2,7	61	8,4
16	2,9	62	8,5
17	3,0	63	8,7
18	3,1	64	8,8
19	3,2	65	8,9
20	3,4	66	9,0
21	3,5	67	9,2
22	3,6	68	9,3
23	3,7	69	9,4
24	3,9	70	9,5
25	4,0	71	9,7
26	4,1	72	9,8
27	4,2	73	10,0
28	4,4		
29	4,5		
30	4,6		
31	4,7		
32	4,8		
33	5,0		
34	5,1		
35	5,2		
36	5,3		
37	5,5		
38	5,6		
39	5,7		
40	5,8		
41	6,0		
42	6,1		
43	6,2		
44	6,3		
45	6,4		

2017-II

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,5
1	1,1	47	6,6
2	1,2	48	6,8
3	1,4	49	6,9
4	1,5	50	7,0
5	1,6	51	7,1
6	1,7	52	7,2
7	1,8	53	7,4
8	2,0	54	7,5
9	2,1	55	7,6
10	2,2	56	7,7
11	2,3	57	7,8
12	2,4	58	8,0
13	2,6	59	8,1
14	2,7	60	8,2
15	2,8	61	8,3
16	2,9	62	8,4
17	3,0	63	8,6
18	3,2	64	8,7
19	3,3	65	8,8
20	3,4	66	8,9
21	3,5	67	9,0
22	3,6	68	9,2
23	3,8	69	9,3
24	3,9	70	9,4
25	4,0	71	9,5
26	4,1	72	9,6
27	4,2	73	9,8
28	4,4	74	9,9
29	4,5	75	10,0
30	4,6		
31	4,7		
32	4,8		
33	5,0		
34	5,1		
35	5,2		
36	5,3		
37	5,4		
38	5,6		
39	5,7		
40	5,8		
41	5,9		
42	6,0		
43	6,2		
44	6,3		
45	6,4		

2018-I

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	7,3
1	1,3	47	7,4
2	1,5	48	7,6
3	1,8	49	7,7
4	1,9	50	7,8
5	2,0	51	8,0
6	2,2	52	8,1
7	2,3	53	8,2
8	2,4	54	8,3
9	2,6	55	8,5
10	2,7	56	8,6
11	2,8	57	8,7
12	2,9	58	8,9
13	3,1	59	9,0
14	3,2	60	9,1
15	3,3	61	9,2
16	3,5	62	9,4
17	3,6	63	9,5
18	3,7	64	9,6
19	3,8	65	9,7
20	4,0	66	9,7
21	4,1	67	9,8
22	4,2	68	9,9
23	4,4	69	9,9
24	4,5	70	10,0
25	4,6		
26	4,7		
27	4,9		
28	5,0		
29	5,1		
30	5,3		
31	5,4		
32	5,5		
33	5,6		
34	5,8		
35	5,9		
36	6,0		
37	6,2		
38	6,3		
39	6,4		
40	6,5		
41	6,7		
42	6,8		
43	6,9		
44	7,1		
45	7,2		

Bedenk dat het toekennen van punten aan een antwoord enige deskundigheid vereist. De hier behaalde scores zijn dus vooral een indicatie van hoeveel je op dit moment weet over het vak.

2018-II

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,4
1	1,1	47	6,6
2	1,2	48	6,7
3	1,4	49	6,8
4	1,5	50	6,9
5	1,6	51	7,0
6	1,7	52	7,2
7	1,8	53	7,3
8	1,9	54	7,4
9	2,1	55	7,5
10	2,2	56	7,6
11	2,3	57	7,8
12	2,4	58	7,9
13	2,5	59	8,0
14	2,7	60	8,1
15	2,8	61	8,2
16	2,9	62	8,3
17	3,0	63	8,5
18	3,1	64	8,6
19	3,3	65	8,7
20	3,4	66	8,8
21	3,5	67	8,9
22	3,6	68	9,1
23	3,7	69	9,2
24	3,8	70	9,3
25	4,0	71	9,4
26	4,1	72	9,5
27	4,2	73	9,6
28	4,3	74	9,8
29	4,4	75	9,9
30	4,6	76	10,0
31	4,7		
32	4,8		
33	4,9		
34	5,0		
35	5,1		
36	5,3		
37	5,4		
38	5,5		
39	5,6		
40	5,7		
41	5,9		
42	6,0		
43	6,1		
44	6,2		
45	6,3		

2019-I

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,7
1	1,1	47	6,8
2	1,2	48	6,9
3	1,4	49	7,0
4	1,5	50	7,2
5	1,6	51	7,3
6	1,7	52	7,4
7	1,9	53	7,5
8	2,0	54	7,7
9	2,1	55	7,8
10	2,2	56	7,9
11	2,4	57	8,0
12	2,5	58	8,2
13	2,6	59	8,3
14	2,7	60	8,4
15	2,8	61	8,5
16	3,0	62	8,6
17	3,1	63	8,8
18	3,2	64	8,9
19	3,3	65	9,0
20	3,5	66	9,1
21	3,6	67	9,3
22	3,7	68	9,4
23	3,8	69	9,5
24	4,0	70	9,6
25	4,1	71	9,8
26	4,2	72	9,9
27	4,3	73	10,0
28	4,5		
29	4,6		
30	4,7		
31	4,8		
32	4,9		
33	5,1		
34	5,2		
35	5,3		
36	5,4		
37	5,6		
38	5,7		
39	5,8		
40	5,9		
41	6,1		
42	6,2		
43	6,3		
44	6,4		
45	6,5		

2019-II

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,4
1	1,2	47	6,5
2	1,3	48	6,6
3	1,4	49	6,8
4	1,6	50	6,9
5	1,7	51	7,0
6	1,8	52	7,1
7	1,9	53	7,2
8	2,0	54	7,3
9	2,1	55	7,4
10	2,3	56	7,6
11	2,4	57	7,7
12	2,5	58	7,8
13	2,6	59	7,9
14	2,7	60	8,0
15	2,8	61	8,1
16	2,9	62	8,3
17	3,1	63	8,4
18	3,2	64	8,5
19	3,3	65	8,6
20	3,4	66	8,7
21	3,5	67	8,8
22	3,6	68	8,9
23	3,8	69	9,1
24	3,9	70	9,2
25	4,0	71	9,3
26	4,1	72	9,4
27	4,2	73	9,5
28	4,3	74	9,6
29	4,4	75	9,8
30	4,6	76	9,9
31	4,7	77	9,9
32	4,8	78	10,0
33	4,9		
34	5,0		
35	5,1		
36	5,3		
37	5,4		
38	5,5		
39	5,6		
40	5,7		
41	5,8		
42	5,9		
43	6,1		
44	6,2		
45	6,3		

ONDERWERP-
REGISTER

Onderwerpregister

In het volgende schema wordt verwezen naar de nummers van vragen uit hoofdstukken en examens.

natuurkunde	deel 1	deel 2a			deel 2a (vervolg)			
		2016-II	**2017-I**	**2017-II**	**2018-I**	**2018-II**	**2019-I**	**2019-II**
A-Vaardigheden	hoofdstuk 1 1 - 15	3-6, 10, 17, 18	5, 8, 13, 20	4, 8, 10, 11	2, 3, 4, 8, 12, 13, 14, 15	1, 3, 7, 15, 18, 20	2, 15, 16, 19	2, 5, 10, 17, 20
B1-Informatie-overdracht	hoofdstuk 2 1 - 22	1, 2	16-20	17-19	13, 15, 16	11	22, 23	10, 11, 14, 17-19
B2-Medische beeldvorming	hoofdstuk 3 1 - 20	7-9, 11	12, 21-25	1-3	17	19-21, 23, 24	7, 10-13	21-25
C1-Kracht en beweging	hoofdstuk 4 1 - 26	14, 16, 17	4, 6, 7, 9, 10	6, 9, 10	1, 3-5, 13	7, 8, 18	1-3	1, 2, 4-7
C2-Energie en wisselwerking	hoofdstuk 5 1 - 17	12, 15	4, 8, 15	7, 8, 12, 14	5, 21	16, 17	4-6, 16	3, 15
C3-Gravitatie	hoofdstuk 6 1 - 15	13, 17, 19, 20		12-14	6	9, 10		
D1-Elektrische systemen	hoofdstuk 7 1 - 21	24-26	1-3	5, 20	22-25	1, 3	25, 26	9
D2-Elektrische en magnetische velden	hoofdstuk 8 1 - 23			3	19, 20	4-6	8, 9, 27, 28	8, 12, 13
E2-Elektromagnetische straling en materie	hoofdstuk 9 1 - 18	21	11	20-24	7, 18	2, 12, 22	14, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 24	
F1-Quantumwereld	hoofdstuk 10 1 - 19	22, 23, 27	14, 15	15, 16, 24, 25	8-12	13, 14		15, 16, 19, 20

©ThiemeMeulenhoff
©ThiemeMeulenhoff

Colofon

Auteurs
R. Slooten
L. van Rooyen
M.H. Overbosch

Vormgeving binnenwerk
Maura van Wermeskerken, Apeldoorn

Opmaak
Crius Group, Hulshout

Redactie
Lineke Pijnappels, Tilburg

Auteur stappenplan
T.H.J. Heutmekers

Over ThiemeMeulenhoff
ThiemeMeulenhoff ontwikkelt zich van educatieve uitgeverij tot een learning design company. We brengen content, leerontwerp en technologie samen. Met onze groeiende expertise, ervaring en leeroplossingen zijn we een partner voor scholen bij het vernieuwen en verbeteren van onderwijs.
Zo kunnen we samen beter recht doen aan de verschillen tussen lerenden en scholen en ervoor zorgen dat leren steeds persoonlijker, effectiever en efficiënter wordt.

Samen leren vernieuwen.

www.thiememeulenhoff.nl

ISBN 978 90 06 49155 5
Eerste druk, derde oplage, 2022

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2021

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Deze uitgave is volledig CO_2-neutraal geproduceerd.
Het voor deze uitgave gebruikte papier is voorzien van het FSC®-keurmerk.
Dit betekent dat de bosbouw op een verantwoorde wijze heeft plaatsgevonden.

examenbundel ›

vwo **Nederlands**
vwo **Engels**
vwo **Duits**
vwo **Frans**
vwo **Economie**
vwo **Bedrijfseconomie**
vwo **Maatschappijwetenschappen**
vwo **Geschiedenis**
vwo **Aardrijkskunde**
vwo **Wiskunde A**
vwo **Wiskunde B**
vwo **Wiskunde C**
vwo **Scheikunde**
vwo **Biologie**
vwo **Natuurkunde**

samengevat }

vwo **Economie**
vwo **Bedrijfseconomie**
vwo **Maatschappijwetenschappen**
vwo **Geschiedenis**
vwo **Aardrijkskunde**
vwo **Wiskunde A**
vwo **Wiskunde B**
vwo **Wiskunde C**
vwo **Scheikunde**
vwo **Biologie**
vwo **Natuurkunde**
havo/vwo **Nederlands 3F/4F**
havo/vwo **Rekenen 3F**

Tips, tricks en informatie die jou helpen bij het slagen voor je eindexamen vind je op examenbundel.nl! Nog meer kans op slagen? Volg ons ook op social media. #geenexamenstress

examenidioom + examenbundel + samengevat + zeker slagen! = #geenexamenstress

examenidioom

vwo **Engels**
vwo **Duits**
vwo **Frans**

zeker slagen !

voor vmbo, havo én vwo

9 789006 491555